МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Кафедра технології нафтогазового машинобудування

В.Б. Копей

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Для студентів напряму підготовки 6.050502 - "Інженерна механіка"

Рекомендовано методичною радою університету

Івано-Франківськ
2011

МВ 02070855-2873-2010
Копей В.Б. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин: Конспект лекцій. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – 160 с.

Конспект лекцій розроблено на основі навчальної програми дисципліни "Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин".

Розглядаються теоретичні основи вирішення основних проблем технології машинобудування: проблеми забезпечення якості виробу та проблем зниження собівартості і підвищення продуктивності виробництва.

Призначено для підготовки бакалаврів за напрямом підготовки 6.050502 "Інженерна механіка".

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованого машинобудівного виробництва ІФНТУНГ Карпик Р.Т.

Рекомендовано методичною радою університету
(протокол № 6 від 05.07.2010)

ЗМІСТ

ВСТУП

Конспект лекцій розроблений відповідно до навчальної програми дисципліни "Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин" для підготовки бакалаврів за напрямом 6.050502 "Інженерна механіка". Розглядаються основні проблеми технології машинобудування та шляхи їх вирішення: статистичні методи аналізу точності, основи теорії розмірних ланцюгів, елементарні похибки обробки та керування точністю обробки, керування якістю поверхонь виробів, визначення припусків на механічну обробку, керування собівартістю і продуктивністю виготовлення виробу, проектування технологічних процесів механічної обробки і складання. Для кращого сприйняття і засвоєння матеріал подається у вигляді чітких понять і визначень та супроводжується великою кількістю ілюстрацій. В кінці кожного розділу пропонуються контрольні запитання, які стосуються найбільш важливих тем. Для ефективної роботи з конспектом лекцій рекомендується користуватись предметним покажчиком.

1 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ. ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ. ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС. ОБ'ЄКТИ І ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

Література:
[1],[4],[5],[7],[8],[9],[10],[12],[13],[16],[17],[24],[25],[26],[30],[32],[33],[36],[37]

1.1 Технологія машинобудування. Історія розвитку. Основні проблеми

Метою дисципліни є вивчення основних закономірностей технологічних процесів машинобудівного виробництва, ознайомлення з шляхами вирішення проблем досягнення заданої якості виробів, продуктивності і собівартості їх виробництва.

Технологія – слово походить від грецьких слів τεχνη (техне) — майстерність, вміння виготовлення і λογοζ (логос) — слово, наука. Сукупність методів обробки, виготовлення, зміни стану,

властивостей, форми сировини, матеріалу або напівфабрикату, які виконуються в процесі виробництва продукції.

Технологія машинобудування — прикладна наука про виготовлення машин потрібної якості і кількості в задані терміни при найменших затратах праці і найменшій собівартості.

Об'єктом технології машинобудування є технологічний процес, а **предметом** - виявлення і дослідження внутрішніх і зовнішніх зв'язків, закономірностей технологічного процесу.

Технологія машинобудування як наука сформувалася в 30-х роках двадцятого століття (табл.1.1). Вона базується на досягненнях таких наук як математика, фізика, електроніка, кібернетика та узагальнює інші технологічні дисципліни.

Таблиця 1.1 - Історія розвитку технології металів та технології машинобудування

Рік	Досягнення технології металів та технології машинобудування
17 ст. до н.е. (Бронзова ера)	Видобуток кольорових металів з руд. Виготовлення інструментів шляхом лиття і кування. Обробка ручним шліфуванням.
7 ст. до н.е. (Залізна ера)	Видобуток заліза. Виготовлення виробів з заліза.
12 ст.	Перші згадки про токарне обточування та свердління на примітивних верстатах
13 ст.	Виробництво сталі. Механічна обробка сталі.
16-17 ст.	Перехід до капіталістичного ладу, поява фабрик, спеціалізація знарядь праці, перехід від ручної праці до машинної (наприклад, виробництво машин для текстильної промисловості).
Поч. 18 ст. (Промислова революція)	Винайдення парової машини, проблеми точності при виготовленні деталей цих машин, поява перших розточувальних верстатів для обробки циліндрів двигунів (Смітон, Вількінсон, І.І. Ползунов). Поява залізних доріг. Сталеплавильне виробництво в доменних печах. Машинобудівні заводи.
Кін. 18 ст.	Вдосконалення токарного верстата - перехресний супорт з механічною передачею від ходового гвинта та коробка передач (Модслей, А.К. Нартов, Відворт, М.В. Ломоносов). Реалізація взаємозамінності у виробництві зброї.
Поч. 19 ст.	Поява перших теоретичних робіт з проблем технології металів та машинобудування (І.О. Двигубський, І.А. Тіме). Експериментальні роботи з проблем різання металів (Кокіль, Жоссель). Удосконалення металорізального обладнання (токарні, розточувальні, свердлильні, фрезерні, стругальні, круглошліфувальні верстати).
Кін. 19 ст.	Поява перших токарних автоматів та прецизійних верстатів. Теоретичні роботи з питань взаємозамінності.
Кін. 19 ст. - Поч. 20 ст.	Систематизація досвіду машинобудування, підведення теоретичної бази (І.А. Тіме, О.П. Гавриленко). Основні закони різання металів (І.А. Тіме, К.А.Зворикін, Гауснер, Тейлор). Винайдення швидкорізальної сталі.
20 ст.	Сформульовані наукові основи технології машинобудування (Н.А. Бородачов, Ф.С. Дем'янюк, А.П. Соколовський, А.І. Каширін, В.С. Корсаков, В.М. Кован, Е.А. Сатель, Б.С. Балакшин, М.Є. Єгоров, С.О. Картавов, А.О. Маталін, С.П. Митрофанов, М.П. Новіков, В.І. Комісаров, І.М. Колесов, Ю.М. Соломенцов, А.Б. Яхін та ін.).
	з 1930 - Дослідження проблеми точності у машинобудуванні, теорія базування (Б.С. Балакшин, Н.А. Бородачов, А.Б. Яхін, К.В. Вотінов, А.А. Зиков, В.С. Корсаков та ін.)
	з 1938 - Ідея типізації технологічних процесів. Дослідження впливу жорсткості системи ВПІД на точність деталей (А.П. Соколовський).

	з 1939 - Поява курсу «Технологія машинобудування» у ВНЗ СРСР.
	з 1939 - Проблема шорсткості поверхонь деталей, дослідження вібрацій при різанні, проектування технологічних процесів (А.І. Каширін).
	з 1949 - Теорія розмірних ланцюгів і її застосування в технології машинобудування (Б.С. Балакшин).
	з 1953 - Методика розрахунку припусків для механічної обробки (В.М. Кован).
	з 1958 - Теорія автоматизації технологічних процесів (Ф.С. Дем'янюк).
	з 1962 - Теорія технологічних процесів складання (М.П. Новіков).
	з 1963 - Оптимальна структура операції у технологічних процесах (Д.В. Чарнко).
	з 1970 - САПР ТП (Г.К. Горанський, Н.М. Капустін, С.П. Митрофанов)
21 ст.	Вирішення проблем якості виробів, продуктивності і собівартості виробництва. Автоматизоване виробництво, гнучкі виробничі системи, автоматизоване проектування технологічних процесів, створення загальної математичної теорії технології машинобудування, нові методи обробки, технологічні методи підвищення довговічності деталей.

Основною метою виробництва для виробника є досягнення прибутку. В умовах конкурентного (не монопольного) ринку прибуток від виробництва машин буде тим більший чим більша кількість реалізованих машин на ринку (для цього потрібно продуктивно виготовляти машини високої якості) та менші витрати на виробництво. Цей факт та саме визначення терміну "Технологія машинобудування" дає уявлення про основні проблеми цієї науки.

Основні проблеми технології машинобудування – проблема забезпечення якості виробу, проблема досягнення меншої собівартості виготовлення і проблема вищої продуктивності праці

(табл.1.2, рис.1.1). Іншими словами, основним завданням технології машинобудування є проектування ефективних технологічних процесів виготовлення машин, які б забезпечували задану якість виробу, максимальну продуктивність виробництва і мінімальну собівартість виробництва.

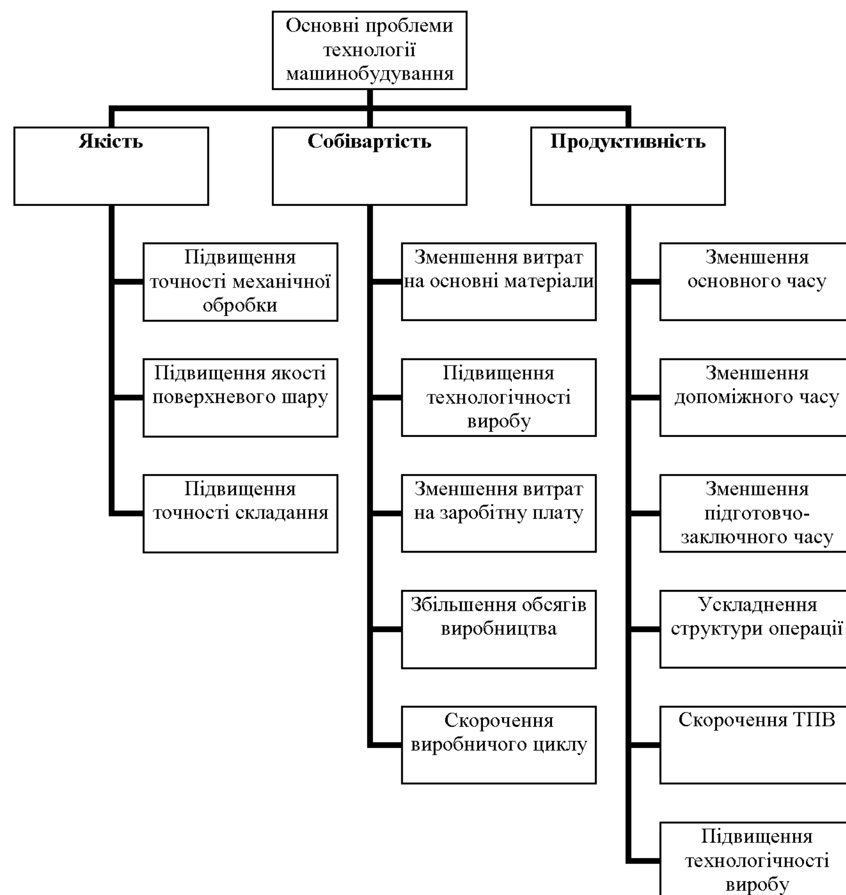


Рисунок 1.1 - Основні проблеми технології машинобудування та деякі шляхи їх вирішення

Таблиця 1.2 - Основні проблеми технології машинобудування і деякі шляхи їх вирішення, які будуть розглянуті в даному курсі

1 ЯКІСТЬ ВИРОБУ			
1.1 Точність механічної обробки			
1.1.1 Методи аналізу точності			
Статистичні методи аналізу точності		Розрахунково-аналітичний метод аналізу точності	Метод технологічних розмірних ланцюгів
Метод кривих розподілу	Метод точкових діаграм		

1.1.2 Похибки механічної обробки											
Випадкові							Систематичні				
Установки			Налагодження				Постійні			Змінні	
Базування	Закріплення	Пристрою	Регулювання	Вимірювання	Розрахунку	Динамічна (від силових деформацій системи ВПІД)	Геометричної точності верстатів	Кінематичної точності верстатів	Неточності виготовлення різального інструменту	Розмірного спрацювання різального інструменту	Теплової деформації інструменту, заготовки, верстату
Теорія базування											

1.1.3 Методи досягнення точності при механічній обробці	
Метод індивідуального отримання розміру	Метод автоматичного отримання розміру

Продовження таблиці 1.2

1.1.4 Методи налагодження технологічної системи		
Налагодження за пробними проходами	Статичне налагодження (за еталоном)	Налагодження за пробними заготовками

1.1.5 Методи керування точністю обробки	
Статистичний контроль; підналагодження	Адаптивне керування точністю

1.2 Якість поверхневого шару деталі	
Шорсткість	Фізико-хімічний стан
Причини утворення шорсткості і відповідні методи керування шорсткістю: 1 Геометричні 2 Деформаційні 3 Вібрації	Методи керування: 1 Термічна і хіміко-термічна обробка 2 Методи поверхневого пластичного деформування 3 Інші методи

1.3 Точність складання				
Методи досягнення точності при складанні				
Повної взаємозамінності	Неповної взаємозамінності	Групової взаємозамінності	Підгонки	Регулювання

2 СОБІВАРТІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ				
Шляхи зменшення собівартості виготовлення				
2.1 Зменшення витрат на основні матеріали	2.2 Підвищення технологічності виробу	2.3 Зменшення витрат на заробітну плату	2.4 Повне використання можливостей засобів технологічного оснащення (ЗТО). Збільшення обсягів виробництва	2.5 Скорочення виробничого циклу, перехід до потокового виробництва

Продовження таблиці 1.2

- Зменшення маси заготовок і деталей - Використання недорогих матеріалів - Організація безвідходної технології		- Спрощення роботи, її механізація і автоматизація, диференціація операцій - Концентрація операцій - Використання багатоверстатного обслуговування - Підвищення продуктивності операцій		

3 ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ			
Шляхи підвищення продуктивності			
3.1 Зменшення основного часу	3.2 Зменшення допоміжного часу	3.3 Зменшення підготовчо-заключного часу	3.4 Ускладнення структури операції
- Зменшення довжини робочого ходу інструмента - Зменшення кількості робочих ходів, підвищення уточнення - Вибір оптимальних режимів різання та методу обробки	- Механізація і автоматизація ЗТО - Використання методів автоматичного досягнення точності	- Використання групової форми організації виробництва, збільшення величини партії - Використання верстатів з ЧПК, РТК та ГВС	- Підвищення класу обробки - Підвищення групи обробки - Збільшення числа потоків

1.2 Об'єкти виробництва

Основним предметом машинобудівного виробництва є машина.

Машина - механізм або комплекс механізмів, призначений

для виконання потрібної корисної роботи, пов'язаної з процесом виробництва або з процесом перетворення енергії. Наприклад, автомобіль, бульдозер, комбайн, металорізальний верстат, парова турбіна, електродвигун і т.д. Життєвий цикл машини охоплює стадії конструкторської підготовки виробництва, технологічної підготовки виробництва, виробництва та експлуатації (використання, обслуговування та ремонту). Машина складається з деталей і вузлів.

Деталь — це виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням та маркою матеріалу без застосування складальних операцій. Наприклад, колінчастий вал, шестерня, втулка, кришка.

Вузол (складальна одиниця) – частина виробу, яка складається окремо і приймає участь у процесі складання виробу як одно ціле. Наприклад, підшипниковий вузол.

Машини виготовляються на машинобудівних заводах. Це території, на яких здійснюється виробничий процес виготовлення машин. Метою виробничого процесу є виробництво виробів.

Виріб - одиниця промислової продукції, кількість якої може обчислюватись в штуках [15]. Це може бути деталь, вузол або машина. До виробів відносять завершені і незавершені предмети виробництва, в тому числі заготовки. Бувають вироби основного виробництва і допоміжного виробництва.

Вироби основного виробництва - товарна продукція [16], вироби, які реалізуються на ринку. Наприклад, автомобілі, підшипники, болти та ін.

Вироби допоміжного виробництва - необхідні для забезпечення функціонування основного виробництва [16]. Наприклад, металорізальні інструменти, верстатні пристрої та ін.

Комплекс машин - два або більше специфікованих виробів, не з'єднаних на заводі, який їх виготовляє, складальними операціями, але призначених для виконування взаємопов'язаних експлуатаційних функцій.

Комплект - два або більше виробів, не з'єднаних на заводі складальними операціями, але таких, що мають спільне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, комплект запчастин, комплект інструментів тощо).

1.3 Виробничий процес і його структура

Виробничий процес виготовлення машини - сукупність усіх дій, необхідних на даному підприємстві для виробництва і ремонту продукції [16] (рис.1.2). Складається з технологічних і допоміжних процесів.

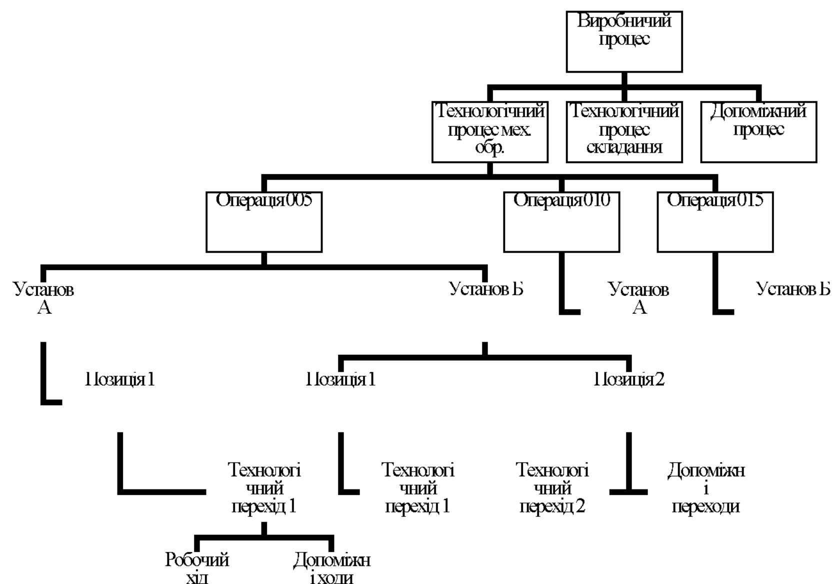


Рисунок 1.2 - Структура та елементи виробничого процесу

Технологічний процес - частина виробничого процесу, що містить у собі дії, які змінюють та (або) визначають стан предмета виробництва [13]. Наприклад, технологічний процес виготовлення заготовки, технологічний процес механічної обробки, технологічний процес складання. Технологічний процес складається з операцій.

Допоміжний процес не передбачає зміну стану предмета виробництва, але потрібний для здійснення виробничого процесу. Наприклад, технологічна підготовка виробництва, складування заготовок і деталей, транспортування, обслуговування робочого місця, контроль і т.д.

Операція - закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці (рис.1.3), над одною деталлю або сукупністю декількох одночасно оброблюваних деталей [13]. Операції бувають технологічні і допоміжні. Операції іменують за типом обладнання, на якому вони виконуються, і нумерують в порядку їх виконання числами 010, 020, 030 і т.д.

Наприклад, технологічний процес механічної обробки вала включає операції, які виконуються в такому порядку (рис.1.4):
010 Токарно-гвинторізна
020 Горизонтально-фрезерна
030 Вертикально-свердлильна
040 Контрольна

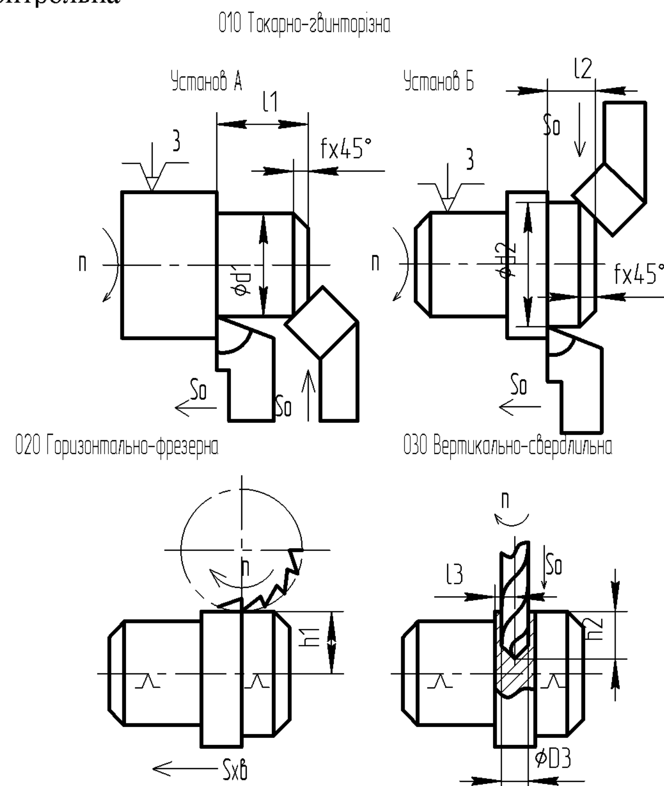


Рисунок 1.3 – Операційні ескізи технологічного процесу обробки вала

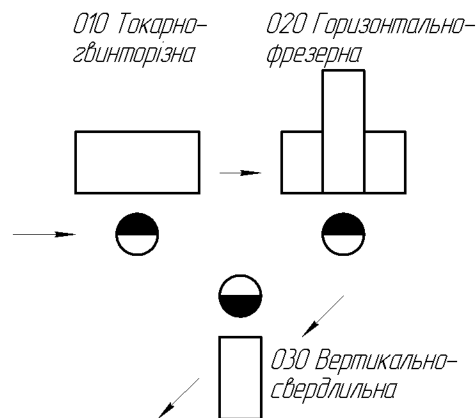


Рисунок 1.4 - Схема дільниці для обробки вала

Таблиця 1.3 – Структура технологічного процесу механічної обробки вала

Ном. опер.	Зміст роботи	Структура			
010	**Токарно-гвинторізна**	Технологічний процес механічної обробки	ТО 010		
	Установ А			Установ А	
	Установити заготовку в патроні.				ДП
	Точити поверхню начорно, витримуючи розміри l1 і ∅d1′.				ТП
	Точити поверхню начисто, витримуючи розміри l1 і ∅d1.				ТП
	Точити фаску f×45°.				ТП
	Установ Б			Установ Б	
	Переустановити заготовку в патроні.				ДП
	Точити поверхню, витримуючи розміри l2 і ∅d2.				ТП
	Точити фаску f×45°.				ТП
020	**Горизонтально-фрезерна**		ТО 020		
	Установити заготовку в призмі.				ДП
	Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір h1.				ТП
030	**Вертикально-свердлильна**		ТО 030		
	Установити заготовку в призмі.				ДП
	Свердлити отвір, витримуючи розміри ∅D3, h2, l3.				ТП
040	**Контрольна**		ДО 040		
	Контролювати розміри l1, ∅d1, f×45°, l2, ∅d2, h, ∅D3, h2, l3.				ДП

Примітка: ТО – технологічна операція, ДО – допоміжна операція, ТП – технологічний перехід, ДП – допоміжний перехід.

Операція поділяється на установи, позиції і переходи.

Установ - частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваних заготовок або складальної одиниці, що складається [13]. Наприклад, виконується обробка вала на токарно-гвинторізному верстаті. Частина операції,

на якій вал закріплений в патроні з однієї сторони і виконується його обробка з іншої, називається установ А, а частина операції, необхідна для його обробки з іншої сторони – установ Б (табл.1.3). Установ може включати одну або більше позицій.

Позиція — це фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка або складальна одиниця разом з пристроєм відносно інструмента або нерухомої частини обладнання для виконання визначеної частини операції [13]. Однією позицією, наприклад, буде частина фрезерної операції, на якій заготовка зубчастого колеса займає, за допомогою ділильної головки, певне положення для фрезерування одного зуба модульною фрезою.

Перехід - частина операції (установа або позиції), що виконується над одною поверхнею або одною сукупністю поверхонь деталі, одним інструментом або одним набором одночасно працюючих інструментів при одних режимах обробки. Бувають технологічні і допоміжні переходи.

Технологічний перехід — закінчена частина технологічної операції, яка виконується одними і тими ж засобами технологічного оснащення при постійних технологічних режимах і установці [13]. Наприклад, чорновий перехід точіння шийки вала на токарній операції (табл.1.3). Технологічний перехід складається з робочих і допоміжних ходів.

Допоміжний перехід - закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини і (або) обладнання, які не супроводжуються зміною властивостей предмета праці, але необхідні для виконання технологічного переходу [13]. Наприклад, зміна різця за допомогою різцетримача, установка заготовки в патроні, контроль розмірів (табл.1.3).

Робочий хід - закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструмента відносно заготовки і супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки [13]. Наприклад, частина переходу точіння шийки вала коли різець однократно переміщуються відносно заготовки і виконується різання.

Допоміжний хід - закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструмента відносно заготовки, не пов'язаного зі зміною форми, розмірів, якості поверхні або властивостей заготовки, але який необхідний для виконання

робочого ходу [13]. Наприклад, підвід різця до деталі для виконання робочого ходу.

1.4 Типи і форми організації виробництва

Тип виробництва — класифікаційна категорія виробництва, що виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску виробів [16]. В машинобудуванні розрізняють одиничний, серійний (дрібносерійний, середньосерійний, великосерійний) і масовий типи виробництв [16]. Для досягнення оптимальної продуктивності виробництва і витрат слід визначити тип будь-якого виробництва і забезпечити його виконання у найсприятливіших умовах, користуючись технологічними характеристиками типу виробництва (табл. 1.4). Наприклад, одиничне виробництво, якому характерні малий обсяг випуску виробів одного найменування, але велика кількість таких найменувань, повинно відбуватись в умовах використання універсального (гнучкого) обладнання, пристроїв і інструментів, технологічної спеціалізації дільниць, індивідуальних методів досягнення точності та верстатників високої кваліфікації. Масове виробництво, навпаки, відбувається в умовах використання спеціального (високопродуктивного) обладнання, предметної спеціалізації дільниць, автоматичних методів досягнення точності та верстатників невисокої кваліфікації. Серійне виробництво займає проміжне положення. Крім цього, для серійного виробництва бажаний запуск у виробництво деталей одного найменування партіями з певної кількості штук. Величина партії має бути оптимальною з точки зору собівартості виробництва.

Виробнича партія — група заготовок одного найменування і типорозміру, які запускаються в обробку одночасно або безперервно протягом визначеного інтервалу часу.

Операційна партія - виробнича партія або її частина, що поступає на робоче місце для виконання технологічної операції.

Таблиця 1.4 - Технологічні характеристики різних типів виробництва

Характерна ознака	**Тип виробництва**		
	Одиничний	**Серійний**	**Масовий**

Характерна ознака	Тип виробництва		
	Одиничний	Серійний	Масовий
Коефіцієнт закріплення операції	Більше 40	Дрібносерійний 20...40 Середньо-серійний 10...20 Великоосерійний 1...10	Менше 1
Обсяг випуску виробів	Малий	Середній	Великий
Кількість найменувань і типорозмірів деталей, що випускаються	Велика і постійно змінюється	Середня	Обмежена і незмінна
Повто-рюваність партій (серій)	Немає	Періодична	Безперервний випуск одних і тих же деталей
Обладнання (верстати)	Універсальне	Універсальне, спеціалізоване і частково спеціальне	Широке застосування спеціалізованого і спеціального обладнання
Пристрої	Переважно універсальні і тільки виняткову спеціальні	Спеціальні пристрої різної складності	Спеціальні пристрої, складні й органічно зв'язані з верстатом
Різальний інструмент	Універса-льний	Універсальний і спеціальний	Спеціальний і комбінований. Багатоінстру-ментні наладки
Вимірюва-льний інструмент	Універса-льний	Калібри, спеціальні вимірювальні інструменти	Калібри, спеціальний комбінований інструмент, вимірювальні пристрої
Розмірне налагодження верстатів	Верстати ненала-годжені, робота за пробними	Верстати налагоджені, періодичний контроль і підналагодження	Складне багатоінстру-ментне налагодження, автоматичне

Характерна ознака	Тип виробництва		
	Одиничний	Серійний	Масовий
	промірами		підналагодження
Форма організації виробництва	Технологічна	Групова або змінно-потокова	Потокова
Кваліфікація робочої сили	Висока	Використання робочої сили різної кваліфікації	Низька при наявності висококвалі-фікованих настроювачів
Методи досягнення точності	Методи індивідуальної пригонки	Широке застосування взаємозамін-ності. Часткова взаємозамінність	Повна взаємозамінність. Допускається виняткова селекція
Види нормування робіт	Укрупнене нормування	Технічне нормування серійного виробництва	Детальне нормування. Хронометраж операцій
Характер технологічних розробок	Укрупнені технологічні розробки (маршрутні карти)	Детальні технологічні розробки (операційні карти)	Дуже детальні технологічні розробки (операційні карти і карти налагоджень). Досліджування технологічних процесів
Види заготовок	Прокат; виливки за дерев'яними моделями; вільне кування	Прокат в обмеженій кількості; виливки за металічними моделями; штамповки	Машинне литво за металічними моделями, литво під тиском й інші точні методи литва, штамповки
Застосування розмітки	Широке	Обмежене і лише для великих та складних деталей	Не застосовується

Коефіцієнт закріплення операцій - відношення кількості всіх різних технологічних операцій (O), що повинні виконуватися протягом місяця, до кількості робочих місць (P) [16]

$$K_{зо} = \frac{O}{P}. \qquad (1.1)$$

Або, іншими словами, це приблизна кількість різних операцій, які виконуються на одному робочому місці протягом місяця. Наприклад, якщо 50 то це одиничний тип виробництва, 1 – масовий. Є однією з основних характеристик типу виробництва.

Форма організації виробництва визначається за формою спеціалізації дільниці і способом міжопераційного транспортування предмета виробництва. Розрізняють технологічну, групову, потокову і змінно-потокову організації виробництва.

Технологічна організація виробництва характеризується технологічною формою спеціалізації дільниці і транспортуванням заготовок партіями. Застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

Групова організація виробництва – така форма організації, яка характеризується однорідними конструктивно-технологічними ознаками виробів, єдністю засобів технологічного оснащення однієї або кількох операцій і спеціалізацією робочих місць. Їй властиві багатопредметна спеціалізація дільниць і транспортування партіями. Застосовується в серійному виробництві.

Потокова організація виробництва - така форма організації, яка характеризується розміщенням засобів технологічного оснащення в послідовності виконання операцій технологічного процесу і спеціалізацією робочих місць. Їй властиві однопредметна спеціалізація дільниць і поштучне транспортування заготовок. Основою потокового виробництва є потокова лінія. Характерна для великосерійного і масового виробництва.

Серійно-потокове (або змінно-потокове) виробництво - така організаційна форма виробництва, при якій деталі поступають на дільницю партіями, але обробка або складання їх відбувається потоковим методом. Характерна для великосерійного виробництва.

Потокова лінія – сукупність технологічного обладнання, розташованого по ходу технологічного процесу і зв'язаного між собою транспортними пристроями або механізмами, необхідного для організації потокового виробництва. Потокові лінії бувають *безперервно-потокові* (повністю синхронізовані) і *перервно-потокові*, які організуються тоді, коли використовують зупинки в роботі для компенсації неоднакового штучного часу на всіх робочих місцях лінії.

Існують дві форми спеціалізації дільниць: технологічна і предметна.

Технологічна форма спеціалізації - в цеху або на дільниці цеху виконуються однорідні технологічні процеси і операції виготовлення заготовок, обробки деталей або складання складальних одиниць. Наприклад, дільниця токарної обробки або дільниця фрезерної обробки. Застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Предметна форма спеціалізації - цехи та дільниці можуть спеціалізуватися у виготовленні одного або декількох однотипних виробів або предметів. Обладнання розташовується не за типами обладнання, а залежно від роду виконуваних процесів чи операцій. Наприклад, дільниця виготовлення колінчастих валів або дільниця виготовлення зубчастих коліс. Застосовується в серійному і масовому типах виробництва.

Концентрація операцій – об'єднання багатьох різних переходів в одну складну операцію з повним використанням технологічних можливостей обладнання. Використовують в одиничному і серійному виробництві.

Диференціація операцій – побудова операцій заданої трудомісткості з невеликої кількості простих технологічних переходів. Використовують в великосерійному і масовому виробництві.

1.5 Якість машини. Точність і методи її досягнення

Однією з основних проблем технології машинобудування є забезпечення заданої якості виробу.

Якість машини – сукупність властивостей машини, або продукції взагалі, що характеризує придатність задовольняти потреби відповідно з її призначенням [17]. Якість характеризують системою показників: технічного рівня, експлуатаційних і виробничо-технологічних (рис.1.5).



Рисунок 1.5 – Показники якості виробу

Управління якістю – дії, які виконуються при створенні і експлуатації або споживанні продукції, з метою встановлення, забезпечення і підтримування необхідного рівня її якості.

Сумарний прибуток від використання машини залежить від її якості (рис. 1.6).

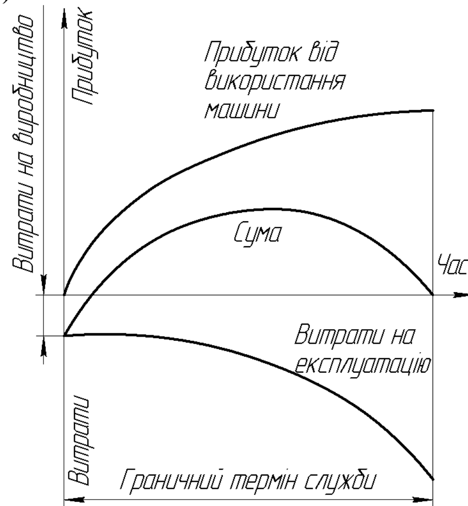


Рисунок 1.6 - Визначення сумарного прибутку від використання машини

Одним з найважливіших показників виробничої якості є точність деталей.

Точність деталі - ступінь приближення дійсного значення параметра деталі до заданого; відповідність вимогам креслення: за розмірами, геометричною формою, правильності взаємного розташування оброблюваних поверхонь і по ступеню їх шорсткості. *Нормована точність* регламентується допусками, які проставляються на кресленнях і вибираються в залежності від призначення і умов роботи деталі. *Дійсна точність* отримується в результаті обробки і поділяється на *економічну* (досягається при мінімальній собівартості обробки і оптимальних витратах часу) і *досяжну* (досягається в найкращих умовах без обмеження витрат часу і коштів).

Враховуючи великі об'єми механічної обробки в сучасному машинобудуванні, дуже важливою проблемою є забезпечення точності механічної обробки.

Основні методи досягнення точності при механічній обробці - метод індивідуального отримання розміру та метод автоматичного отримання розмірів.

Метод індивідуального отримання розміру полягає в тому, що кожну деталь обробляють після окремого налагодження, виконаного наприклад, методом пробних ходів і вимірювань. *Переваги*: вища точність може бути отримана на неточному обладнанні, можна уникнути похибки від спрацювання інструмента, не потребує додаткових пристроїв для налагодження. *Недоліки*: непродуктивний, вимагає високої кваліфікації робітника, залежність точності від мінімальної товщини стружки, що зрізається.

Метод пробних ходів і вимірювань полягає в тому, що потрібний розмір отримують поступовим наближенням за кілька ходів. До оброблюваної заготовки, встановленої на верстаті, підводять різальний інструмент (рис.1.7-1) і з короткої ділянки її поверхні знімають пробну стружку (рис.1.7-2), верстат зупиняють, роблять пробний вимір отриманого розміру, визначають величину його відхилення від креслярського і регулюють положення інструмента за поділками лімба верстата (рис.1.7-3). При необхідності процедуру повторяють. Таким чином, шляхом пробних ходів і вимірів встановлюють правильне положення інструмента щодо заготовки, при якому забезпечується необхідний розмір. Після цього виконують обробку заготовки по всій довжині поверхні (рис.1.7-4).

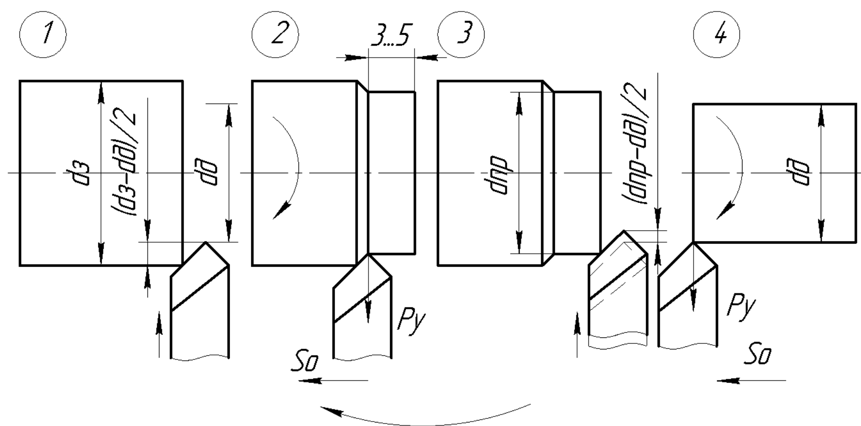


Рисунок 1.7 - Досягнення точності методом пробних ходів і вимірювань

Метод автоматичного отримання розміру полягає в тому, що верстат заздалегідь налагоджується для обробки партії деталей так, щоб потрібні розміри і точність деталей досягались автоматично, майже незалежно від кваліфікації і уваги робітника. *Переваги*: висока продуктивність, можна використовувати верстатників низької кваліфікації. *Недоліки*: складність та трудомісткість попереднього налагодження, нижча точність.

Контрольні запитання

1 Перечисліть основні проблеми технології машинобудування і основні напрямки їх вирішення.
2 Опишіть структуру технологічного процесу.
3 Перечисліть основні характерні ознаки одиничного, серійного і масового виробництва.
4 Перечисліть групи показників якості машини. Наведіть приклади.
5 Які існують методи досягнення точності механічної обробки? Перечисліть їх переваги і недоліки.

2 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТОЧНОСТІ

Література: [1],[2],[4],[7],[15],[19],[22],[24],[29],[36],[37]

2.1 Суть статистичних методів в машинобудуванні. Випадкова величина і її характеристики

У процесі виготовлення машин (процесі виготовлення заготовки, механічної обробки, складання) діють багато чинників, які впливають на точність. Наприклад, неточності верстатів, пристроїв, інструментів, і заготовок, їх деформації в процесі обробки, спрацювання тощо. Багато цих чинників є випадковими, тобто передбачити їх важко або неможливо. Тому, з метою статистичного контролю якості [15], в машинобудуванні використовують методи теорії ймовірностей та математичної статистики (найчастіше метод кривих розподілу та метод точкових діаграм).

Суть статистичних методів в машинобудуванні полягає у визначенні значень випадкових величин (розмірів деталей, похибок обробки) та математичній обробці цих даних за певними правилами з метою їх аналізу. Аналіз дозволить, наприклад, виявити об’єктивні характеристики точності і стабільності процесу обробки, вияснити чи задовільна точність обробки, передбачити імовірний процент браку, вжити заходів щодо підвищення точності та уникнення невиправного браку.

Випадкова величина – змінна величина, значення якої залежить від випадку. Випадкові величини бувають неперервні та дискретні. В певних границях неперервна випадкова величина може приймати будь-які значення, а дискретна – тільки скінченні. Наприклад, якщо виміряти певний розмір усіх деталей партії штангенциркулем з точністю вимірювання 0,1 мм, то отримаємо дискретні значення випадкової величини.

Перелічимо основні числові характеристики випадкових величин.

Абсолютна частота випадкової величини m – кількість випадків появи певних значень випадкової величини із загальної кількості повторів процесу n.

Відносна частота випадкової величини

$$\boxed{p = \frac{m}{n}} \qquad (2.1)$$

при великій кількості випробувань приймається за **статистичну імовірність** $y(x)$. Наприклад, статистична імовірність випадання числа 1 грального кубика рівна 1/6, а імовірність випадання числа від 1 до 6 рівна 1. Тоді як відносна частота випадання числа 1 при 60 киданнях може бути рівна, наприклад, 12/60.

Середнє значення випадкової величини (математичне сподівання) для дискретної величини:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot p_i, \qquad (2.2)$$

для неперервної величини:

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot y(x)dx, \qquad (2.3)$$

де *x* – випадкова величина, *y(x)* - імовірність появи випадкової величини *x*.

Відхилення випадкової величини від середнього значення визначається так: $x_i - \bar{x}$.

Важливою характеристикою випадкової величини могло б бути середнє відхилення випадкової величини від середнього значення. Тобто середнє з $x_i - \bar{x}$. Але $x_i - \bar{x}$ може набути від'ємного значення, тому шукають середнє величин $(x_i - \bar{x})^2$, яке називається дисперсією. Квадратний корінь з дисперсії дає середнє квадратичне відхилення випадкової величини.

Дисперсія випадкової величини для дискретної величини:

$$D = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \cdot p_i, \qquad (2.4)$$

для неперервної величини:

$$D = \int_{0}^{\infty} (x - \bar{x})^2 \cdot y(x)dx = \int_{0}^{\infty} x^2 \cdot y(x)dx - \bar{x}^2. \qquad (2.5)$$

Середнє квадратичне відхилення випадкової величини для дискретної величини:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \cdot p_i}, \qquad (2.6)$$

для неперервної величини:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\int_{0}^{\infty} (x - \bar{x})^2 \cdot y(x)dx}. \qquad (2.7)$$

Середнє квадратичне відхилення випадкової величини характеризує ступінь її розсіювання.

2.2 Аналіз точності методом кривих розподілу

Для аналізу випадкової величини в машинобудуванні важливо знати її закон розподілу (розподіл ймовірностей).

Закон розподілу випадкової величини *y(x)* – функціональна залежність імовірності появи випадкової величини від значення випадкової величини *x*. Функція *y(x)* називається густиною розподілу випадкової величини. Імовірність попадання випадкової величини в інтервал від x_1 до x_2 дорівнює площі криволінійної трапеції $\int_{x_1}^{x_2} y(x)dx$, а в інтервал +∞ до -∞ дорівнює $\int_{-\infty}^{+\infty} y(x)dx = 1$. В машинобудуванні найчастіше використовують закон рівної імовірності (рис. 2.1а), закон Сімпсона (рис. 2.1б), нормальний закон (рис. 2.1в) і закон ексцентриситету (рис. 2.1г). Виявлення закону розподілу випадкової величини дозволяє, наприклад, визначити фактичне поле розсіювання розмірів деталей (похибку обробки), підрахувати імовірний процент браку, виконати оптимальне розмірне підналагодження.

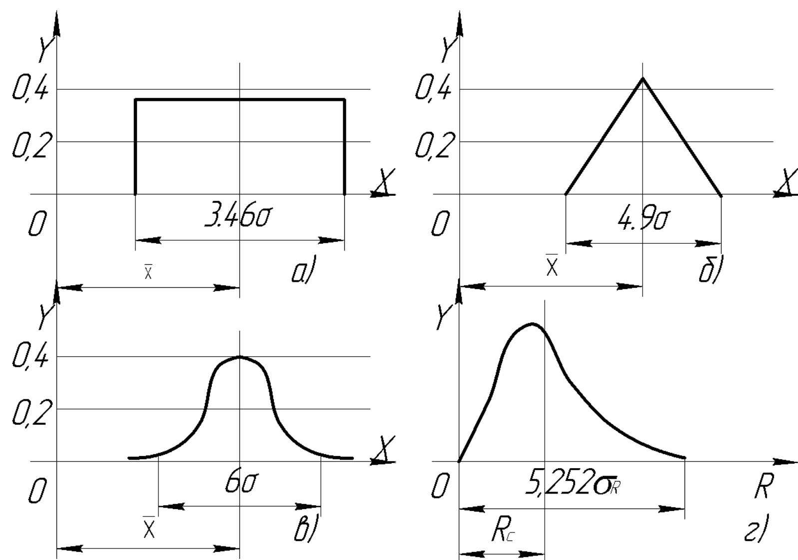


Рисунок 2.1 – Закони розподілу випадкових величин:
а - рівної імовірності; б - Сімпсона; в - нормальний; г - Релея

Нормальний закон розподілу випадкової величини (закон Гауса) найчастіше використовується для опису випадкової величини в науці і в техніці. Густина розподілу згідно цього закону визначається так:

$$y(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2.8)$$

де x – випадкова величина, $\bar{x}$ - середнє значення, σ - середнє квадратичне відхилення.

Якщо середнє значення $\bar{x}$ =0 то $y(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$.

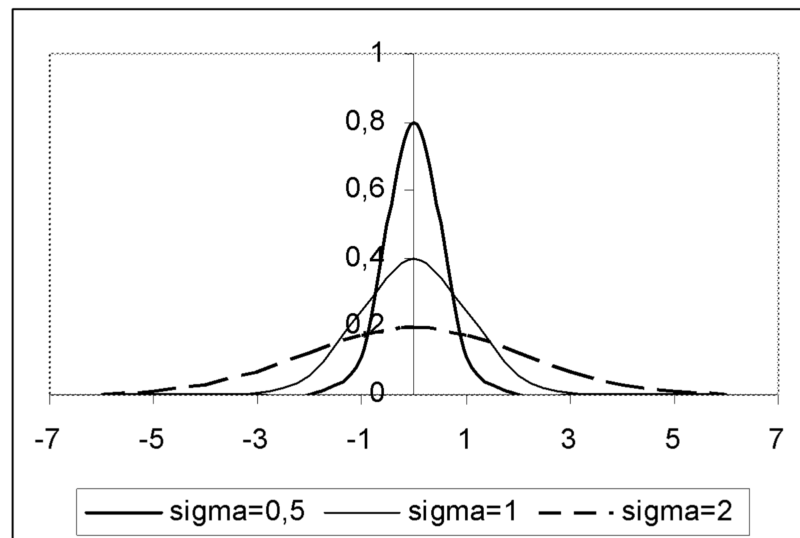


Рисунок 2.2 - Вплив середнього квадратичного відхилення σ на вигляд кривої нормального розподілу

З зростанням x до $+\infty$ або до $-\infty$ функція $y(x)$ асимптотично наближається до нуля. Тому на практиці обмежуються діапазоном розсіювання $\pm 3\sigma$, в який попадатиме 99,73% площі під кривою. Іншими словами, імовірність появи значення випадкової величини в діапазоні $\pm 3\sigma$ дорівнює 0,9973.

Середнє квадратичне відхилення σ впливає на вигляд кривої та ширину поля (діапазон) розсіювання випадкової величини (рис.2.2).

Імовірність попадання випадкової величини в інтервал від x_1 до x_2 дорівнює площі криволінійної трапеції

$$\int_{x_1}^{x_2} y(x)dx=\int_{x_1}^{x_2}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}dx .$$

Закон ексцентриситету (Релея) часто використовується для опису таких випадкових величин як ексцентриситет, биття, непаралельність, неперпендикулярність, овальність, конусність. Випадкова величина R являє собою геометричну суму випадкових величин x, y, які підлягають закону Гауса:

$$R=\sqrt{x^2+y^2}, \sigma_x=\sigma_y=\sigma_0 ,$$

$$y(R) = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e^{\frac{-R^2}{2\sigma_0^2}}.$$

Діапазон розсіювання випадкової величини дорівнює:

для нормального закону: 6σ (якщо діапазон містить 99,73% від усієї сукупності);

для закону Сімпсона: $\sqrt{24}\sigma$;

для закону рівної імовірності: $\sqrt{12}\sigma$;

для закону Релея: $5{,}252\sigma_R=3{,}44\sigma_0$.

Примітка: якщо відомі параметри тільки емпіричного розподілу, діапазон розсіювання знаходиться так: $\bar{x} \pm l \cdot S$, де S – емпіричне середнє квадратичне відхилення, l – толерантна границя, яка залежить від імовірності P того, що діапазон містить не менше заданого процента із усієї генеральної сукупності.

Коефіцієнт розсіювання випадкової величини – це відношення діапазону розсіювання до середнього квадратичного відхилення випадкової величини:

для нормального закону: 6;

для закону Сімпсона: $\sqrt{24}$;

для закону рівної імовірності: $\sqrt{12}$.

Коефіцієнт відносного розсіювання – це відношення коефіцієнта розсіювання нормального закону до коефіцієнта розсіювання іншого закону:

для нормального закону: 6/6=1;

для закону Сімпсона: $6/\sqrt{24} = 1{,}22$;

для закону рівної імовірності: $6/\sqrt{12} = 1{,}72$.

Приклад. На токарному верстаті обробили партію валиків з 50 штук. Після вимірювання діаметрів валиків штангенциркулем з точністю 0,1 мм виявилось, що 1 валик має діаметр 19,6мм, 3 - 19,7мм, 9 – 19,8мм, 13 – 19,9мм, 16 – 20мм, 5 – 20,1мм, 3 – 20,2мм. Визначити середнє значення та середнє квадратичне відхилення діаметрів валиків. Побудувати полігон розподілу відносних частот та криву густини розподілу діаметра валиків згідно нормального закону (табл.2.1, рис.2.3).

Таблиця 2.1 – Приклад розрахунку числових характеристик випадкової величини

x_i	m_i	p_i	$x_i \cdot p_i$	$(x_i - \bar{x})^2 \cdot p_i$	$y(x)$	$y(x) \cdot h$
19,6	1	0,02	0,392	0,002231	0,123458	0,012346
19,7	3	0,06	1,182	0,003285	0,628899	0,06289
19,8	9	0,18	3,564	0,003232	1,805828	0,180583
19,9	13	0,26	5,174	0,000301	2,922853	0,292285
20	16	0,32	6,4	0,001394	2,66669	0,266669
20,1	5	0,1	2,01	0,002756	1,371429	0,137143
20,2	3	0,06	1,212	0,004245	0,397566	0,039757
Σ=	50	1	19,934	0,017444		0,991672
			σ =	0,132076		h=0,1 мм

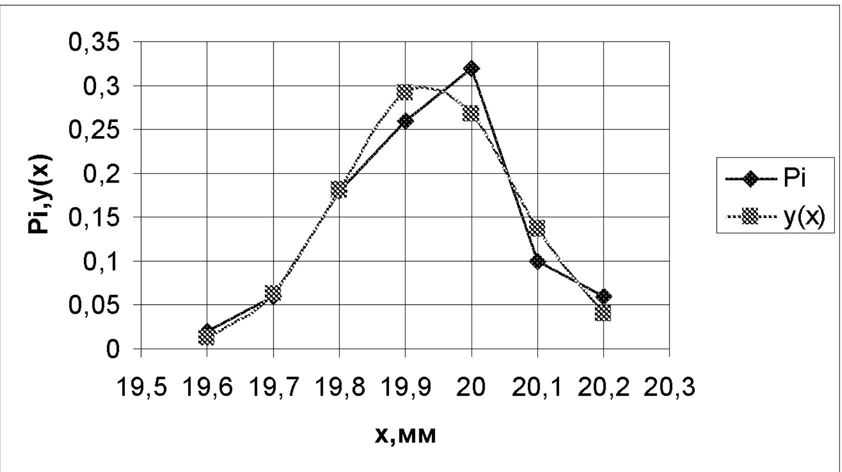


Рисунок 2.3 - Полігон розподілу відносних частот та крива густини розподілу діаметра валиків згідно нормального закону

Знайдений закон розподілу дозволяє визначити: розмір, на який налагоджений верстат, сумарну похибку обробки, теоретичну величину виправного і невиправного браку, величину оптимального підналагодження верстата. Для практичного застосування необхідно оцінити узгодження емпіричних (P_i) і теоретичних ($y(x)$) даних за певним критерієм, наприклад критерієм узгодження Пірсона. Якщо дані не узгоджуються, підбирають інший закон розподілу.

Інтеграл імовірності Гауса дозволяє визначити імовірність

появи випадкової величини в заданому діапазоні від 0 до x.

$$\Phi(t)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_0^{x-\bar{x}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}dx=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{t} e^{-\frac{t^2}{2}}dt, \qquad (2.9)$$

де $t=\dfrac{x-\bar{x}}{\sigma}$.

Може використовуватися для підрахунку імовірного браку деталей. Наприклад, потрібно визначити процент виправного і невиправного браку деталей, якщо відомо середнє квадратичне відхилення кривої розподілу σ=0,132 мм, середнє значення $\bar{x}$=19,934 мм і допустимі розміри деталі x_{min}=19,7 мм, x_{max}=20,2 мм (рис.2.4).

$$Б_{нв}=0,5-Ф\left(\frac{x_{\min}-\bar{x}}{\sigma}\right)=0,5-Ф\left(\frac{19,7-19,934}{0,132}\right)=$$

$$=0,5-Ф(1,77)=0,5-0,46=0,04\ (4\%)$$

$$Б_{в}=0,5-Ф\left(\frac{x_{\max}-\bar{x}}{\sigma}\right)=0,5-Ф\left(\frac{20,2-19,934}{0,132}\right)=$$

$$=0,5-Ф(2,01)=0,5-0,478=0,022\ (2,2\%)$$

З метою уникнення невиправного браку верстат необхідно підналагодити на величину Δ (рис.2.4). Таким чином, після підналагодження на оптимальний розмір $d_н=\bar{d}+\Delta$, крива зміститься вправо і невиправний брак буде відсутній.

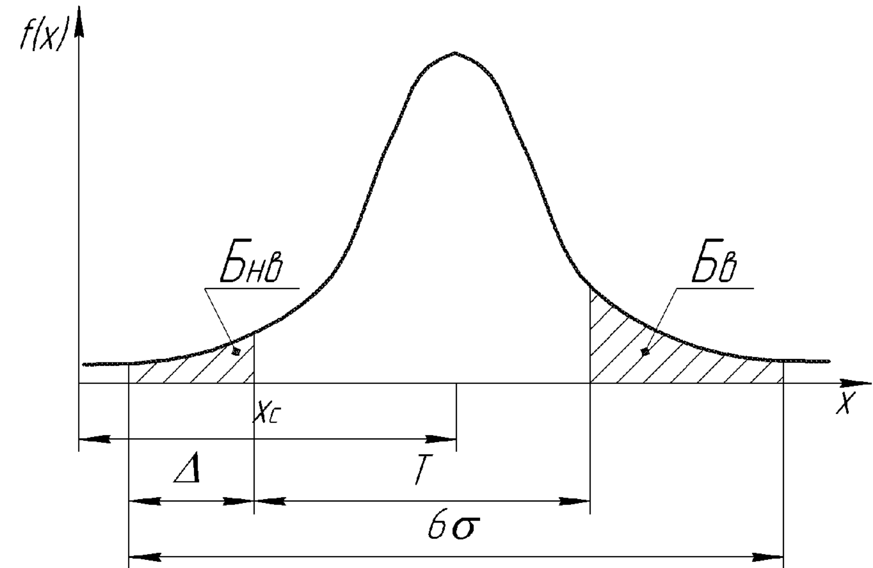


Рисунок 2.4 – Визначення теоретичного виправного і невиправного браку деталей

2.3 Аналіз точності методом точкових діаграм

Поряд з методом кривих розподілу часто використовують метод точкових або групово-точкових діаграм, який має свої переваги.

Точкова діаграма розподілу випадкової величини – це графічна емпірична залежність між порядковим номером випадкової величини та її значенням. На рис.2.5 показана точкова діаграма розподілу діаметра валиків партії (d), які оброблені на попередньо налагодженому токарному верстаті. Нумеруються валики в порядку їх обробки (N). Точкова діаграма дає уявлення про зміну значень випадкової величини з часом. На діаграмі (рис.2.5) діаметр валиків спочатку зменшується, що пояснюється тепловим видовженням різця, а потім збільшується внаслідок розмірного спрацювання різця. Отже діаграма дозволяє оцінити вплив систематичних змінних похибок обробки.

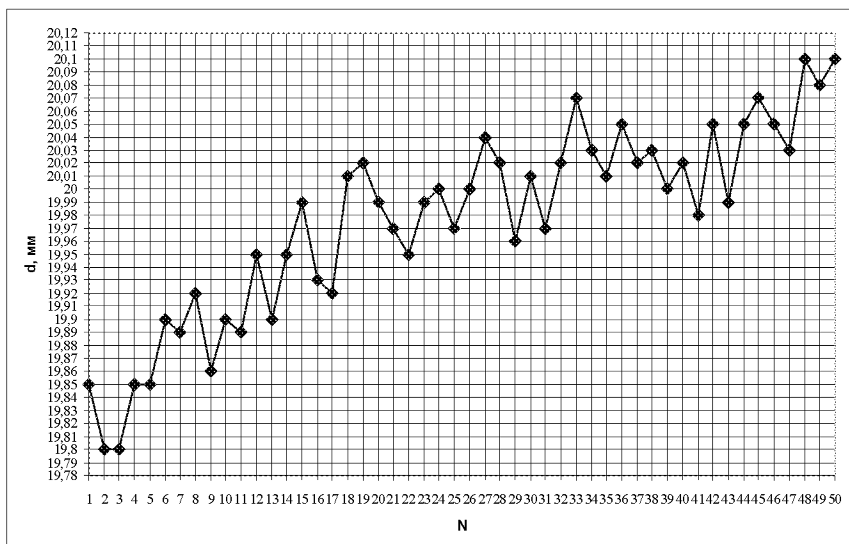


Рисунок 2.5 – Точкова діаграма розподілу діаметрів валиків партії

Групово-точкова діаграма розподілу випадкових величин – це графічна емпірична залежність між порядковим номером груп випадкової величини та середнім її значенням у групі. Групово-точкова діаграма дозволяє отримати набагато більше важливої інформації для контролю точності процесу. Метод групово-точкових діаграм об'єднує в собі переваги методів кривих розподілу і точкових діаграм. Щоб побудувати таку діаграму для нашого прикладу токарної обробки партії валиків, спочатку необхідно об'єднати деталі в групи. Нехай таких груп буде 5, тоді в першу групу увійдуть перші 50/5=10 оброблені деталі, у другу – наступні 10 і т.д. У кожній групі визначається середнє значення діаметра (d_i) та емпіричне середнє квадратичне відхилення (S_i). На діаграму наносять точки d_i, d_i+$3S_i$, d_i-$3S_i$ (рис.2.6). Відповідні точки з'єднують лініями. Додатково на діаграму наносять лінії поля допуску.

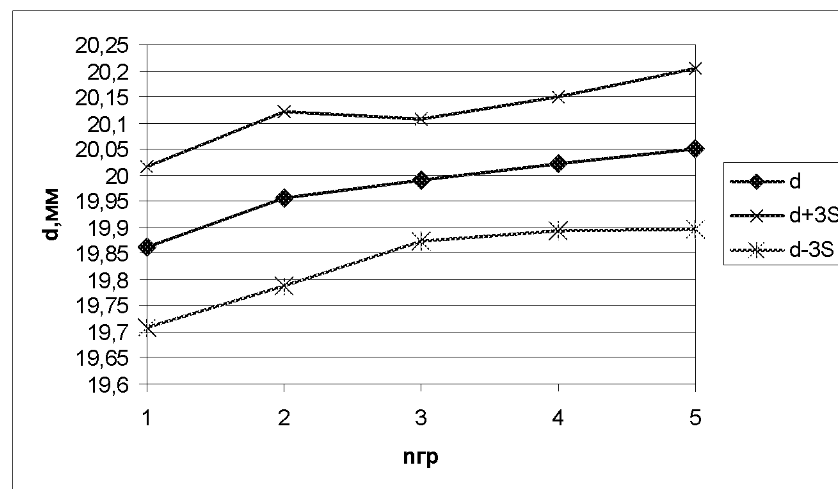


Рисунок 2.6 – Групово-точкова діаграма розподілу діаметрів валиків

Побудована діаграма дозволяє оцінити систематичну похибку обробки, випадкову похибку обробки ($6S_i$) та її зміну, визначити розмір, на який потрібно налагодити верстат ($d_н$) та точність налагодження верстата в початковий період роботи. Для таких оцінок використовують показники точності і стабільності технологічних операцій:

Показник рівня налагодження – характеризує точність налагодження верстата в початковий період роботи

$$\boxed{K_н = \frac{d_н - \overline{d}_1}{T}}, \tag{2.10}$$

де $d_н$ – центр налагодження (налагоджувальний розмір), який визначається за результатами експерименту:

$$d_н = d_{нижн} + \left(\overline{d}_1 - d_{\min}\right),$$

де $d_{нижн}$ - найменше допустиме значення діаметру вала;

$d_{\min}$ - найменше емпіричне значення розміру (визначається по лінії $d_i - 3S_i$);

$\overline{d}_1$ - середнє значення першої вибірки (пробних деталей),

T – допуск.

Показник зміщення центру налагоджкння – характеризує відносну величину систематичної похибки

$$K_ц = \frac{d_н - \bar{d}_к}{T}, \quad (2.11)$$

де $\bar{d}_к$ - середнє значення кінцевої вибірки перед новим налагодженням.

Показник міжналагоджувальної стабільності – характеризує зміну розсіювання розмірів за період між налагодженнями

$$K_{мс} = \frac{\sigma_к}{\sigma_1}, \quad (2.12)$$

$\sigma_к$, σ_1 – середнє квадратичне відхилення в кінцевій і першій вибірках.

Для аналізу точності також використовуються теоретичні діаграми точності, побудовані за допомогою розрахунково-аналітичного методу (див. тему "Розрахунково-аналітичний метод визначення точності обробки").

Для **статистичного регулювання технологічних процесів** [15] може бути використаний метод медіан та середніх значень $\bar{x} - x$. Він полягає в тому, що з потоку продукції кожні 1-2 години вибирається вибірка з 3-10 деталей. Деталі вимірюються і результати вимірювань наносять на контрольний графік у вигляді точок (рис.2.7). На графік наносять також медіани $\bar{x}$. Наприклад, якщо у вибірку входить 5 деталей, їх впорядковують за зростанням параметра і значення параметра третьої деталі приймають за медіану. На графік наносять границі поля допуску (*Тв*, *Тн*), границі регулювання для медіан (*Рв*, *Рн*) і для піврозмахів (*Рв.р*, *Рн.р*):

$$P_в = T_в - 0{,}8A_6\frac{\delta}{2},$$

$$P_н = T_н + 0{,}8A_6\frac{\delta}{2},$$

$$P_{в.р} = T_в - D_6\frac{\delta}{2},$$

$$P_{н.р} = T_н + D_6\frac{\delta}{2},$$

де A_6, D_6 - коефіцієнти, що залежать від величини вибірок, δ - допуск.

Якщо медіани не виходять за межі границь регулювання для медіан, а значення вибірок за границі піврозмахів, то технологічний процес відбувається задовільно. Якщо ні, то беруть позачергову пробу. Якщо проба дає негативний результат, на карті робиться відмітка (↓), усувається причина порушення та контролюється уся продукція між вибірками.

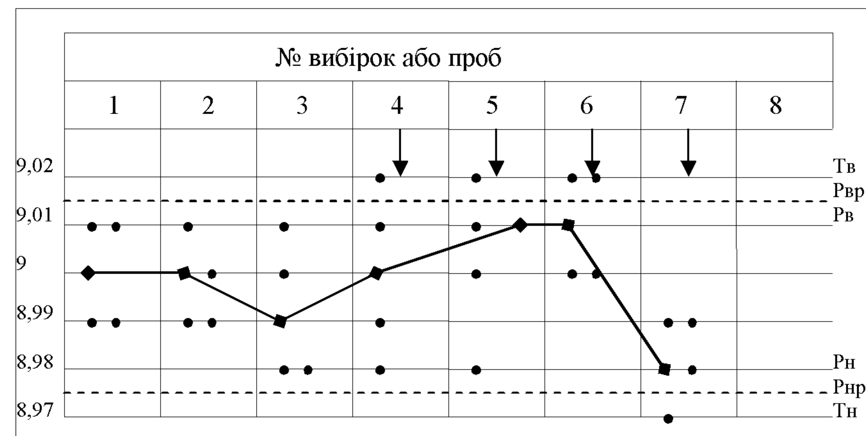


Рисунок 2.7 – Приклад заповнення контрольного графіка

Контрольні запитання

1 З якою метою використовують статистичні методи в машинобудуванні?
2 Назвіть основні числові характеристики випадкових величин.
3 Перечисліть закони розподілу випадкової величини, які використовуються в машинобудуванні.
4 Якою залежністю описується нормальний закон розподілу та які його властивості?
5 Опишіть послідовність аналізу точності методом кривих розподілу. З якою метою він виконується?
6 Опишіть послідовність побудови групово-точкової діаграми та її аналізу.
7 Перечисліть показники точності і стабільності технологічних

операцій.

3 ОСНОВИ ТЕОРІЇ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Література: [1],[4],[19],[31],[32],[36],[37]

Застосування теорії розмірних ланцюгів в машинобудуванні дозоляє вирішувати різноманітні задачі пов’язані з забезпеченням точності механічної обробки і складання. Це, зокрема, визначення допусків і відхилень деталей з’єднання, перевірка точності з’єднання, обґрунтування способу досягнення точності при складанні, розрахунок операційних розмірів чи вибір найкращої технології механічної обробки поверхонь.

3.1 Типи розмірних ланцюгів. Основні визначення. Проектна і перевірочна задача розрахунку розмірних ланцюгів

Розмірний ланцюг (РЛ) – сукупність взаємопов’язаних між собою розмірів таким чином, що вони утворюють замкнутий контур і впливають на один розмір, який називається замикаючим (рис.3.1).

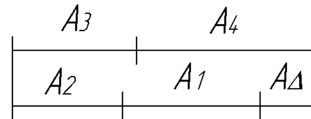


Рисунок 3.1 – Приклад схеми розмірного ланцюга

Рівняння в номінальних розмірах:

$$\boxed{A_\Delta = A_3 + A_4 - A_2 - A_1 = \sum A_i^{зб} - \sum A_i^{зм}}, \qquad (3.1)$$

або в середніх розмірах:

$$\overline{A}_\Delta = \overline{A}_3 + \overline{A}_4 - \overline{A}_2 - \overline{A}_1 = \sum \overline{A}_i^{зб} - \sum \overline{A}_i^{зм}.$$

Розмірні ланцюги можуть бути конструкторськими, технологічними і вимірними.

Конструкторський РЛ – визначає розміри між поверхнями чи осями деталей у виробі.

Технологічний РЛ - визначає розміри між поверхнями чи осями виробу у ході виконання операцій обробки або складання, при налагодженні верстата або розрахунку міжопераційних розмірів і припусків.

Замикаючий розмір (ланка) РЛ – розмір, який в процесі механічної обробки чи складання одержується останнім і залежить

від складових розмірів (A_Δ).

Збільшуючий розмір (ланка) РЛ – розмір, при збільшенні якого замикаючий розмір збільшується (A_3, A_4).

Зменшуючий розмір (ланка) РЛ – розмір, при збільшенні якого замикаючий розмір зменшується (A_1, A_2).

Типи розмірних ланцюгів: незалежні і зв’язані (паралельно, послідовно або комбіновано), лінійні і кутові, плоскі (з паралельними ланками і не паралельними ланками) і просторові.

Метод розв’язування плоских РЛ з непаралельними ланками – РЛ перетворюється в РЛ з паралельними ланками шляхом проектування усіх розмірів на напрямок замикаючого розміру.

Приклад (рис.3.2). Після проектування усіх розмірів на напрямок замикаючого розміру утворюється розмірний ланцюг з паралельними ланками:

$$A_\Delta = A_1' + A_2' - A_3' + A_4' = A_1 \cdot \cos 45° + A_2 \cdot \sin 45° - A_3 \cdot \cos 45° + A_4 \cdot \sin 45°.$$

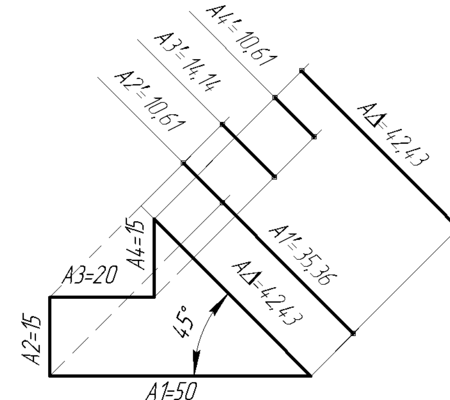


Рисунок 3.2 – Розв’язування розмірного ланцюга з непаралельними ланками

Перевірочна задача розрахунку РЛ – визначення допуску і відхилень замикаючої ланки за допусками і відхиленнями інших ланок. Ця задача може бути розв’язана методами повної і неповної взаємозамінності.

Розрахунок РЛ методом повної взаємозамінності (метод максимуму і мінімуму) оснований на тому, що точність замикаючої ланки РЛ досягається шляхом включення в нього усіх складових ланок без підбору або зміни їх значень. Допуск (фактичне розсіювання) замикаючої ланки:

$$T_\Delta = \sum_{i=1}^{n} T_i, \qquad (3.2)$$

де T_i - допуски інших ланок.

Вивід формули (рис.3.1):

$$A_{\Delta max}=A_{3max}+A_{4max}-A_{1min}-A_{2min}, \qquad (3.3)$$

$$A_{\Delta min}=A_{3min}+A_{4min}-A_{1max}-A_{2max}, \qquad (3.4)$$

$$T_\Delta=A_{\Delta max}-A_{\Delta min}=A_{3max}+A_{4max}-A_{1min}-A_{2min}-A_{3min}-A_{4min}+A_{1max}+A_{2max}= =T_1+T_2+T_3+T_4.$$

Верхнє відхилення замикаючої ланки:

$$ES_\Delta = A_\Delta^{\max} - A_\Delta^{ном} = \sum ES_i^{зб} - \sum EI_i^{зм} .$$

Нижнє відхилення замикаючої ланки:

$$EI_\Delta = A_\Delta^{\min} - A_\Delta^{ном} = \sum EI_i^{зб} - \sum ES_i^{зм} ,$$

де *зб* – збільшуючі ланки РЛ, *зм* – зменшуючі.

Формули для відхилень замикаючої ланки можна отримати, якщо у рівняння (3.3, 3.4) підставити максимальний розмір ланок: $A_i^{\max} = A_i^{ном} + ES_i$, і мінімальний розмір ланок: $A_i^{\min} = A_i^{ном} + EI_i$, де $A_i^{ном}$ - номінальний розмір ланки.

Розрахунок РЛ методом неповної взаємозамінності оснований на тому, що потрібна точність досягається тільки у заздалегідь обумовленої частини об'єктів шляхом включення в РЛ усіх складових ланок без підбору або зміни їх значень. Допуск замикаючої ланки:

$$T_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} k_i^2 T_i^2}, \qquad (3.5)$$

де k_i – коефіцієнт відносного розсіювання розмірів.

Вивід формули: Відомо, що дисперсія суми випадкових величин дорівнює сумі дисперсій цих величин. Отже середнє квадратичне відхилення замикаючої ланки буде рівне:

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \ldots + \sigma_n^2} .$$

Якщо допуск дорівнює полю розсіювання ланки, виконаємо заміну:

$$\sigma_i = \frac{T_i}{2z_i},$$

де T_i – допуск ланки, $2z_i$ – коефіцієнт розсіювання ланки: для нормального закону z=3 (що відповідає 99,73% сукупності), для закону Сімпсона $z = \sqrt{6}$, для закону рівної імовірності $z = \sqrt{3}$.

$$T_\Delta = 2z_\Delta \sqrt{\frac{T_1^2}{4z_1^2} + \frac{T_2^2}{4z_2^2} + \ldots + \frac{T_n^2}{4z_n^2}} .$$

Якщо $2z_\Delta$ внести під корінь і зробити заміну:

$$k_i = \frac{2z_\Delta}{2z_i},$$

де k_i – коефіцієнт відносного розсіювання ланки (див. тему 2.2), то отримаємо:

$$T_\Delta = \sqrt{k_1^2 T_1^2 + k_2^2 T_2^2 + \ldots + k_n^2 T_n^2} .$$

Ордината середини поля допуску замикаючої ланки для обох методів розрахунку РЛ визначається так:

$$Em_\Delta = \sum Em_i^{зб} - \sum Em_i^{зм} ,$$

де $Em_i = \dfrac{ES_i + EI_i}{2}$.

Відхилення ланок: $ES_i = Em_i + \dfrac{T_i}{2}$, $EI_i = Em_i - \dfrac{T_i}{2}$.

Проектна задача розрахунку РЛ – визначення допусків і відхилень усіх ланок за заданим допуском замикаючої ланки (вихідної). Ця задача може бути розв'язана методами повної і неповної взаємозамінності.

Знаходять допуск ланок *методом рівних допусків* або *методом рівних квалітетів*. З умови виконання рівності 3.2 для *методу повної взаємозамінності* отримуємо:

$$T_{сер} = \frac{T_\Delta}{n-1},$$

де T_Δ - допуск замикаючої ланки, n – загальна кількість ланок РЛ.

З умови виконання рівності 3.5 для *методу неповної взаємозамінності* отримуємо:

$$T_{сер} = \frac{T_\Delta}{(1{,}2\sqrt{n-1})},$$

де 1,2 - коефіцієнт відносного розсіювання.

Якщо точність замикаючої ланки не досягається, вибирають

регулюючу ланку та знаходять її допуск і відхилення. З умови виконання рівності 3.2 для *методу повної взаємозамінності*:

$$T_{рег} = T_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-2} T_i ,$$

і з умови виконання рівності 3.5 для *методу неповної взаємозамінності*:

$$T_{рег} = \frac{1}{k_p}\sqrt{T_{\Delta}^2 - \sum_{i=1}^{n-2} k_i^2 T_i^2} ,$$

де k_p – коефіцієнт відносного розсіювання регулюючої ланки.

Ордината середини поля допуску регулюючої ланки:

$$Em_{рег} = \pm(Em_{\Delta} - \sum Em_i^{зб} + \sum Em_i^{зм}),$$

«+» - регулююча ланка збільшуюча, «-» - регулююча ланка зменшуюча.

Розрахунок розмірних ланцюгів з компенсаторами:

Величина поля компенсації:

$$\boxed{\Delta_k = T_{\Delta}^{'} - T_{\Delta}}, \qquad (3.6)$$

де $T_{\Delta}^{'}$ - фактичний допуск замикаючої ланки, T_{Δ} - потрібний допуск замикаючої ланки.

Верхнє відхилення поля компенсації: $ES_k = ES_{\Delta}^{'} - ES_{\Delta}$.

Нижнє відхилення поля компенсації: $EI_k = EI_{\Delta}^{'} - EI_{\Delta}$.

Ордината середини поля компенсації: $Em_k = \pm(Em_{\Delta}^{'} - Em_{\Delta})$,

«+» - компенсатор зменшуюча ланка, «-» - компенсатор збільшуюча ланка.

3.2 Приклади розрахунку розмірних ланцюгів

Приклад проектної задачі розрахунку РЛ

Дано: A_{Δ}=4±1 (замикаюча ланка), A_1=10, A_2=6 (рис. 3.3-1).

Знайти: допуски і відхилення A_1, A_2.

Застосовуємо метод рівних допусків та метод повної взаємозамінності:

$$T_{Ai} = \frac{T_{\Delta}}{n-1} = \frac{2}{3-1} = 1 .$$

Якщо A_1 вал, то приймаємо відхилення "в тіло" (рис.3.3-2):

$$T_{A1}=1,\ A_1=6_{-1}.$$

Тоді:

$$T_{A2}=T_{\Delta}-T_{A1}=2-1=1,$$
$$ES_{A2}=ES_{\Delta}+EI_{A1}=1+(-1)=0,$$
$$EI_{A2}=EI_{\Delta}+ES_{A1}=-1+0=-1.$$

Якщо ланку A_2 важко виготовити з допуском 1, перевіряємо чи можливо досягти точності методом неповної взаємозамінності:

$$T_{Ai} = \frac{T_{\Delta}}{\sqrt{n-1}} = \frac{2}{\sqrt{3-1}} \approx 1,4 .$$

Якщо розсіювання розмірів ланок підлягає нормальному закону розподілу (k=1), то приймаємо:

$$T_{A1}=1,4,\ T_{A2}=1,4,$$

або $T_{A1}=1,\ T_{A2} = \sqrt{2^2 - 1^2} \approx 1,7$ (рис.3.3-3).

Відхилення A_2 знаходимо з рівняння: $Em_{\Delta}=Em_{A2}-Em_{A1}$.

$$Em_{A2}=Em_{\Delta}+Em_{A1}=0-0,5=-0,5,$$
$$ES_{A2}=Em_{A2}+T_{A2}/2=-0,5+0,85=0,35,$$
$$EI_{A2}=Em_{A2}-T_{A2}/2=-0,5-0,85=-1,35.$$

Якщо і такого допуску A_2 досягти важко, застосовуємо метод компенсації. З умови зручності виготовлення приймаємо T_{A2}=2, а ланку A_1 вибираємо як компенсатор. У такому випадку фактичний допуск і відхилення замикаючої ланки (рис.3.3-4):

$$T_{\Delta}'=T_{A1}+T_{A2}=1+2=3,$$
$$ES_{\Delta}'=ES_{A2}-EI_{A1}=0-(-1)=1,$$
$$EI\Delta'=EI_{A2}-ES_{A1}=-2-0=-2.$$

Знаходимо величину поля компенсації і відхилення (рис.3.3-5):

$$\Delta_к=T_{\Delta}'-T_{\Delta}=3-2=1,$$
$$ES_к=ES_{\Delta}'-ES_{\Delta}=1-1=0,$$
$$EI_к=EI_{\Delta}'-EI_{\Delta}=-2-(-1)=-1.$$

Точності досягають в процесі складання зрізаючи (або нарощуючи компенсуючими прокладками) ланку A_1 в межах $\Delta_к$.

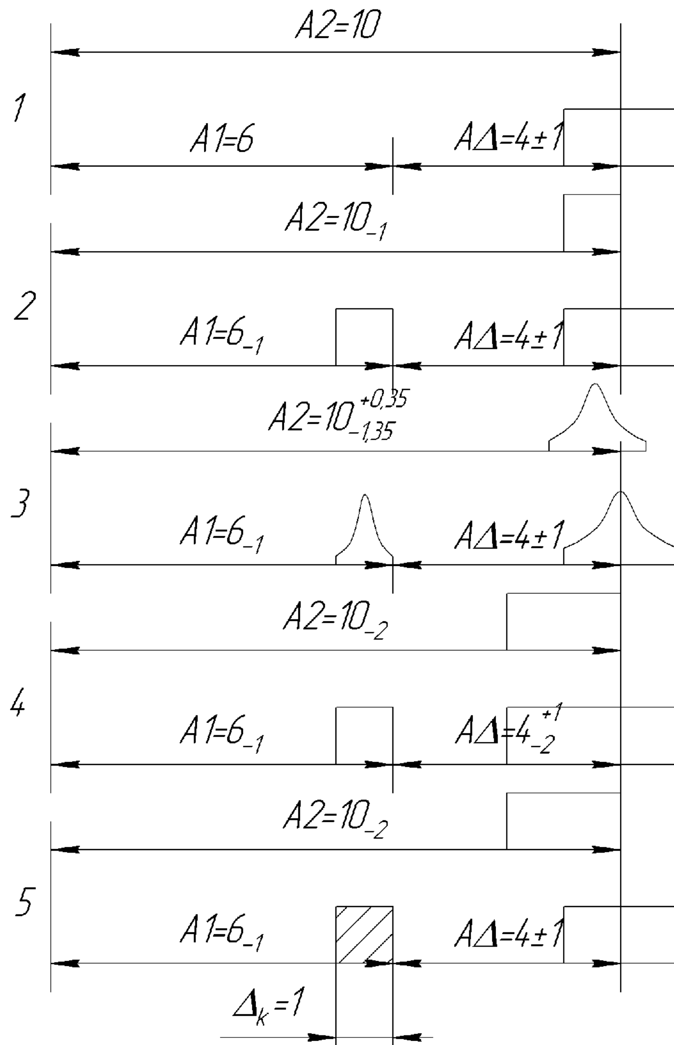


Рисунок 3.3 - Проектна задача розрахунку розмірних ланцюгів: 1 – вихідний ланцюг, 2 – метод повної взаємозамінності, 3 – метод неповної взаємозамінності, 4 – фактичний допуск замикаючої ланки, якщо A_1 не компенсатор, 5 – метод компенсації (A_1 – ланка компенсатор)

Приклади розв’язування технологічних розмірних ланцюгів

Задача 1а (перевірочна)

Дано: схема обробки деталі на фрезерній операції (рис. 3.4, 3.5), розмір та допуск заготовки A_1, розмір і допуск деталі A_2 Верстат налагоджений для обробки партії заготовок на розмір $A_н$. Відоме розсіювання цього розміру $\Delta_{Aн}=\omega$ (ω - середньостатистична точність фрезерування).

Знайти: розсіювання (похибку) розміру A_2 і перевірити чи менше воно допуску. Вибрати найкращий варіант технології (з мінімальним розсіюванням розміру A_2).

Варіант технології 1 (рис.3.4).

В даному випадку деталь базується на верстаті по нижній площині. Розмір A_2 одержується в результаті обробки (є замикаючим) і залежить від A_1 і $A_н$. Тому його розсіювання, відповідно методу повної взаємозамінності, визначається так: $\Delta_{A2}=T_{A1}+\Delta_{Aн}=T_{A1}+\omega$. Знайдене розсіювання Δ_{A2} повинно бути меншим допуску T_{A2} . В протилежному випадку можливий брак.

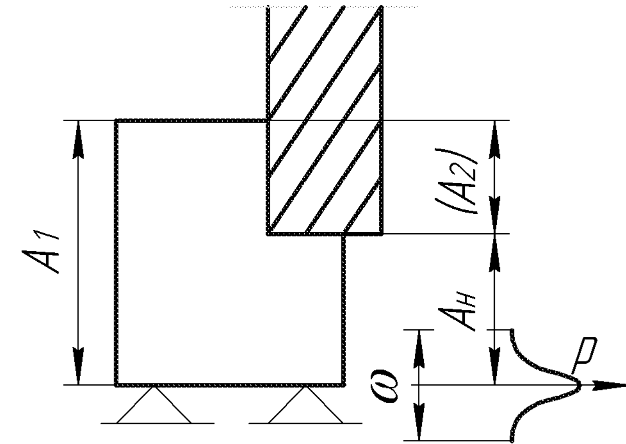


Рис. 3.4

Варіант технології 2 (рис.3.5).

В даному випадку деталь базується на верстаті по верхній площині. Розмір A_2 одержується в результаті обробки (є замикаючим) і залежить тільки від $A_н$. Тому його розсіювання визначається так: $\Delta_{A2}=\Delta_{Aн}=\omega$. Це менше ніж в попередньому варіанті, отже тут розмір A_2 отримується точнішим.

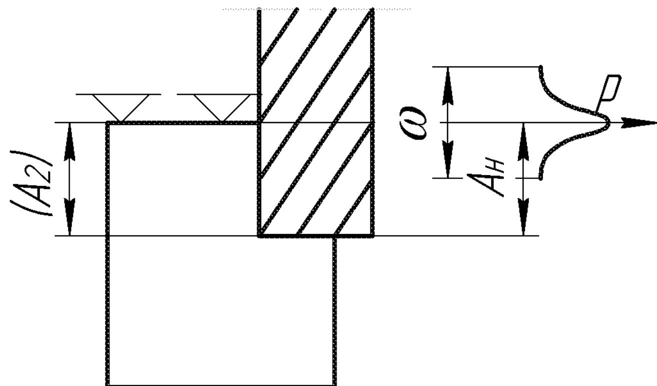


Рис. 3.5

Задача 1б (проектна)

Дано: схема обробки деталі на фрезерній операції (рис. 3.4, 3.5), розмір та допуск заготовки A_1, розмір і допуск деталі A_2. Верстат налагоджений для обробки партії заготовок на розмір $A_н$.

Знайти: допуск на технологічний розмір (розмір налагодження) $A_н$. Вибрати найкращий варіант технології (з максимальним допуском на технологічний розмір).

Варіант технології 1 (рис. 3.4).

В даному випадку деталь базується на верстаті по нижній площині. Розмір A_2 одержується в результаті обробки (є замикаючим) і залежить від A_1 і $A_н$. Тому, відповідно методу повної взаємозамінності, $T_{A2}=T_{A1}+T_{Aн}$. Звідси отримуємо допуск на технологічний розмір: $T_{Aн}= T_{A2}-T_{A1}$.

Варіант технології 2 (рис. 3.5).

В даному випадку деталь базується на верстаті по верхній площині. Розмір A_2 одержується в результаті обробки (є замикаючим) і залежить тільки від $A_н$. Тому $T_{A2}=T_{Aн}$. Звідси допуск на технологічний розмір: $T_{Aн}=T_{A2}$. Це більше ніж в попередньому випадку, точність досягається легше і тому цей варіант технології кращий.

Задача 2

Дано: схеми обробки деталі на двох операціях (рис.3.6), розмір та допуск заготовки *d1*, розміри і допуски деталі *d*, *h*.

Знайти: допуск на технологічний розмір *S* на першій операції. Вибрати найкращий варіант технології (з максимальним допуском на технологічний розмір).

Варіант технології 1.

Перша операція: базування заготовки на площину, фрезерування паза на налагодженому на розмір *S* верстаті.

$$T_X=T_S+T_{d1}/2.$$

Друга операція: базування заготовки в центрах, шліфування циліндра на налагодженому на розмір *d* верстаті.

$$T_h=T_d/2+T_X.$$

Отже:

$$T_S=T_h-T_d/2-T_{d1}/2.$$

Варіант технології 2.

Перша операція: базування заготовки в центрах. Друга операція аналогічна.

$$T_X=T_S.$$

Отже:

$$T_S=T_h-T_d/2.$$

Варіант технології 3.

Перша операція: базування заготовки в призмі. Друга операція аналогічна.

$$T_X=\frac{T_{d1}}{2\sin(\alpha/2)}+T_S.$$

Отже:

$$T_S=T_h-T_{d/2}-\frac{T_{d1}}{2\sin(\alpha/2)}.$$

Не важко переконатися, що допуск T_S буде найбільший у другому варіанті технології. Але практично здійснити таку схему базування важко, тому вибираємо схему базування у призмі.

010 Вертикально-фрезерна 020 Кругло-шліфувальна

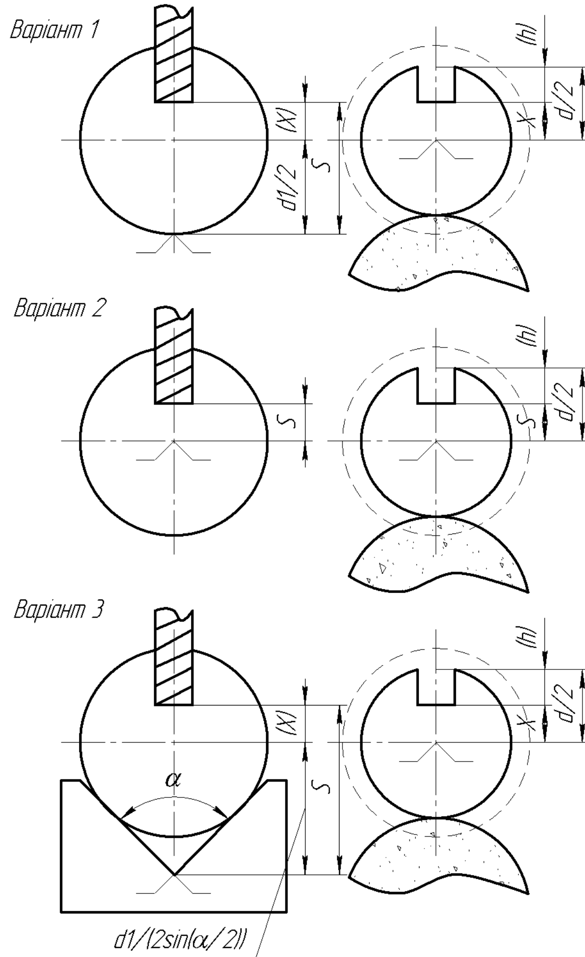


Рисунок 3.6 – Схеми обробки деталі та технологічні розмірні ланцюги

Задача 3

Дано: розміри деталі (рис.3.7), середня статистична точність обробки ω=0.1 мм.

Вибрати варіант технології для досягнення розмірів, заданих

конструктором.

Варіант 1. Обробка виконується на токарно-револьверному верстаті. Пруток подається до упора (технологічна база), затискається цангою, виконується обточування шийки вала (етап 1) і відрізання заготовки (етап 2). Верстат попередньо налагоджений на технологічні розміри $A_{н1}$ і $A_{н2}$.

Розв’язуємо технологічні розмірні ланцюги для кожного етапу обробки.

Етап 2:

$\Delta_{A2}=\Delta_{Aн2}=\omega$=0,1 мм<$T_{A2}$ (точність досягається).

Етап 1:

$\Delta_{A1}=\Delta_{Aн1}+\Delta_{A2}=\omega$+0,1=0,2 мм>$T_{A1}$ (точність не досягається).

Перевіримо, чи можливо досягти точності методом неповної взаємозамінності:

$$\Delta_{A1}=k\sqrt{\Delta_{Aн1}^2+\Delta_{A2}^2}=1{,}22\sqrt{0{,}1^2+0{,}1^2}\approx 0{,}17<T_{A1}$$

(точність досягається).

Варіант 2. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Спочатку проводиться відрізання заготовки (етап 1), а потім обточування шийки вала (етап 2). Верстат попередньо налагоджений на технологічні розміри $A_{н2}$ і $A_{н1}$.

Розв’язуємо технологічні розмірні ланцюги для кожного етапу обробки.

Етап 1:

$\Delta_{A2}=\Delta_{Aн2}=\omega$=0,1 мм<$T_{A2}$ (точність досягається).

Етап 2:

$\Delta_{A1}=\Delta_{Aн1}=\omega$=0,1 мм<$T_{A1}$ (точність досягається).

Варіант 3. Для досягнення заданої точності вибирають ланку компенсатор і збільшують її на величину Z. Перші два етапи обробки аналогічні варіанту 1. На третьому етапі виконується зрізання Z на токарно-гвинторізному верстаті. Верстати попередньо налагоджені на технологічні розміри $Б_{н1}$, $Б_{н2}$, $A_{н1}$.

Розв’язуємо технологічні розмірні ланцюги для кожного етапу обробки.

Етап 2:

$\Delta_{Б2}=\Delta_{Бн2}=\omega$=0,1 мм.

Етап 1:

$\Delta_{Б1}=\Delta_{Бн1}+\Delta_{Б2}=\omega$+0,1=0,2 мм.

Етап 3:

$\Delta_{A1}=\Delta_{Aн1}=\omega$=0,1 мм<$T_{A1}$ (точність досягається),

$\Delta_{A2}=\Delta_{A1}+\Delta_{Бн1}=\omega+\omega$=0,2 мм<$T_{A2}$ (точність досягається).

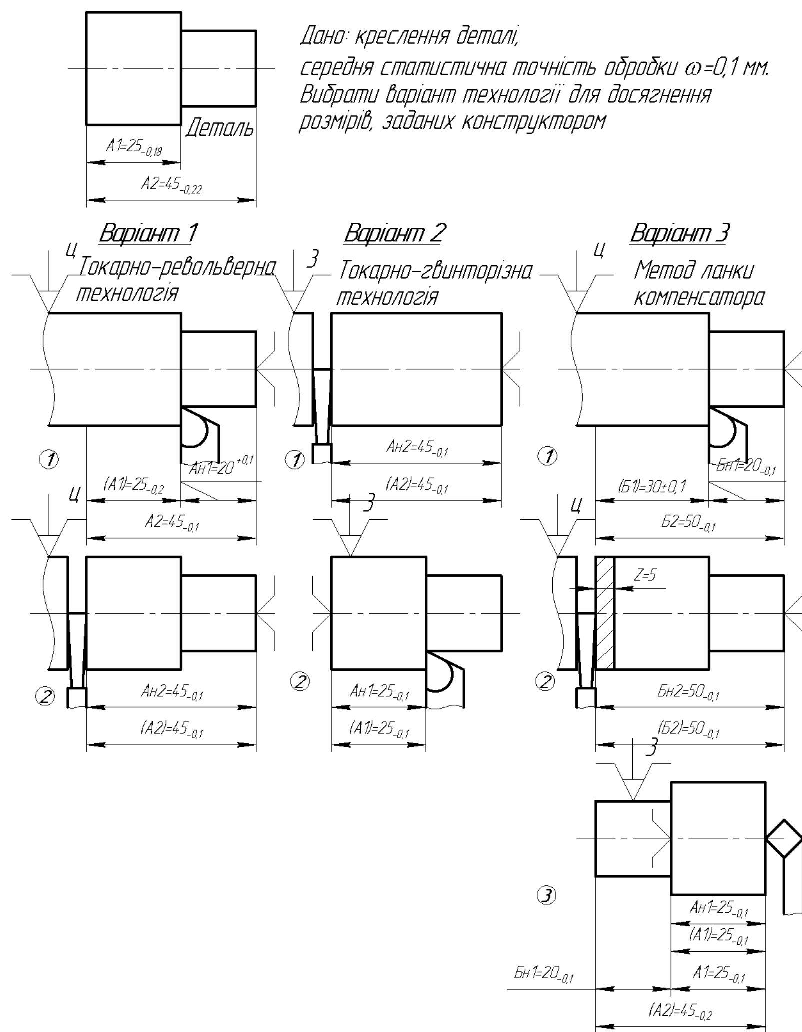


Рисунок 3.7 - Схеми обробки деталі та технологічні розмірні ланцюги

Контрольні запитання

1 Для чого застосовують теорію розмірних ланцюгів у

машинобудуванні?

2 У чому полягає проектна і перевірочна задачі розрахунку розмірних ланцюгів? Наведіть приклади.

3 Яку ланку називають замикаючою і як визначають її допуск і відхилення методами повної і неповної взаємозамінності?

4 Виведіть формулу допуску замикаючої ланки для методу неповної взаємозамінності.

5 У чому полягає розрахунок розмірних ланцюгів з компенсаторами?

4 ЕЛЕМЕНТАРНІ ПОХИБКИ ОБРОБКИ. КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ОБРОБКИ

Література: [1],[2],[4],[7],[8],[9],[10],[12],[14],[10],[19],[22],[24],[29],[32],[34],[36],[37]

4.1 Класифікація елементарних похибок обробки

Похибка обробки – відхилення дійсного значення параметра деталі (геометричного або іншого) від його номінального значення, яке установлене нормативно-технічною документацією [15] (рис. 4.1а). Під час обробки партії деталей на налагодженому верстаті похибка обробки характеризується шириною поля розсіювання розмірів деталей (рис. 4.1б). З метою уникнення браку похибка обробки не повинна перевищувати величину допуску.

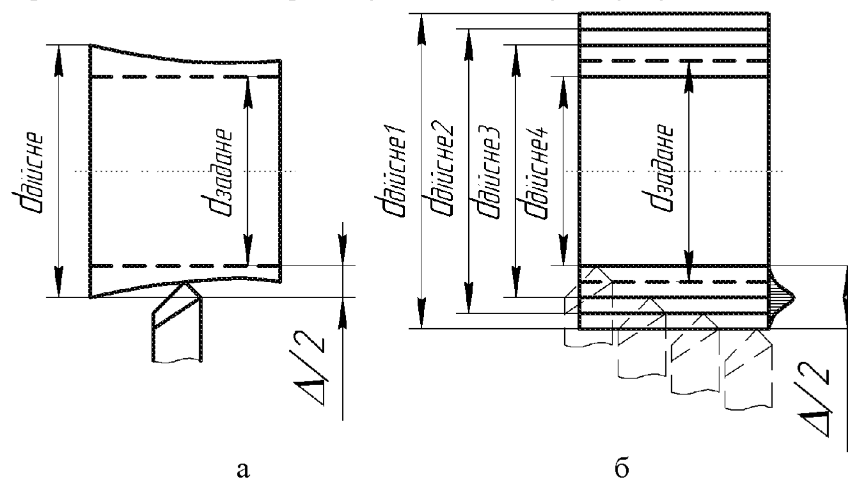


Рисунок 4.1- Похибка обробки *Δ* однієї деталі (а), партії деталей (б)

Елементарна похибка обробки – частина загальної похибки обробки, спричинена одним або декількома чинниками.

Класифікація елементарних похибок обробки (рис. 4.2):

1 *Випадкові*:

а) Похибка базування ($\Delta\varepsilon_б$).

б) Похибка закріплення ($\Delta\varepsilon_з$).

в) Похибка пристрою ($\Delta\varepsilon_{пр}$).

г) Похибка розмірного налагодження ($\Delta_н$).

д) Динамічна похибка обробки ($\Delta_у$).

2 *Систематичні*:

2.1 *Систематичні постійні*:

а) Похибка від геометричної точності верстата ($\Delta_в$).

б) Похибка від неточності виготовлення і заточування різального інструмента ($\Delta_а$).

2.2 *Систематичні змінні*:

а) Похибка від температурної деформації різального інструмента ($\Delta_т$).

б) Похибка від розмірного спрацювання інструмента (Δ_i).

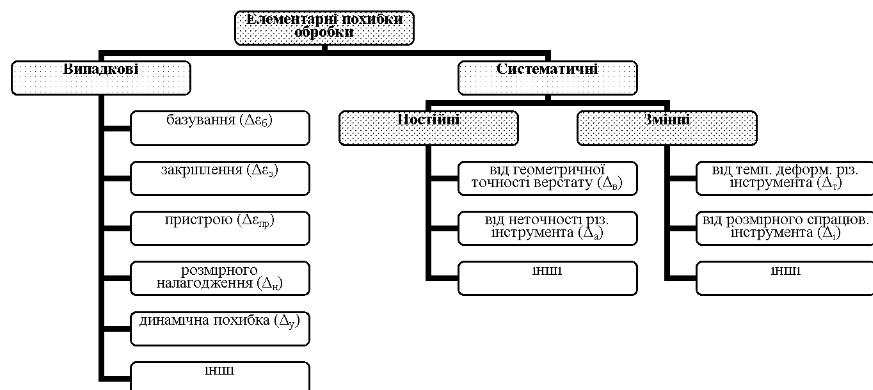


Рисунок 4.2 - Класифікація елементарних похибок обробки

Випадкова похибка – похибка, яка приймає за незмінних умов різні модуль і (або) знак [15].

Систематична похибка – похибка, яка за незмінних умов зберігає модуль і (або) знак (**систематична постійна**), або приймає модуль і (або) знак, які закономірно змінюються (**систематична змінна**) [15].

4.2 Бази і базування в машинобудуванні

В технології машинобудування **теорія базування** вивчає проблеми надання певного положення заготовки відносно верстата, пристрою і інструмента з метою підвищення точності і продуктивності, зменшення собівартості обробки або складання.

Базування – надання заготовці чи виробу одного і того ж потрібного положення (їх орієнтування) відносно вибраної системи координат, зв'язаної з інструментом при обробці або з базовим вузлом при складанні [14].

База – точка, лінія, поверхня (або їх сукупність) виробу чи заготовки, яка використовується для базування [14].

Правило «шести точок» - для повного (завершеного) базування заготовки чи виробу необхідно і достатньо створити в ній шість опорних точок та розташувати їх певним чином відносно базових поверхонь.

Опорна точка – точка, яка символізує один з зв'язків заготовки або виробу з вибраною системою координат [14].

Класифікація баз (рис. 4.3):

За призначенням: конструкторські, вимірні і технологічні.

За кількістю зв'язків: установча, напрямна, опорна, подвійна напрямна, подвійна опорна.

За характером проявлення: явна та уявна (прихована).

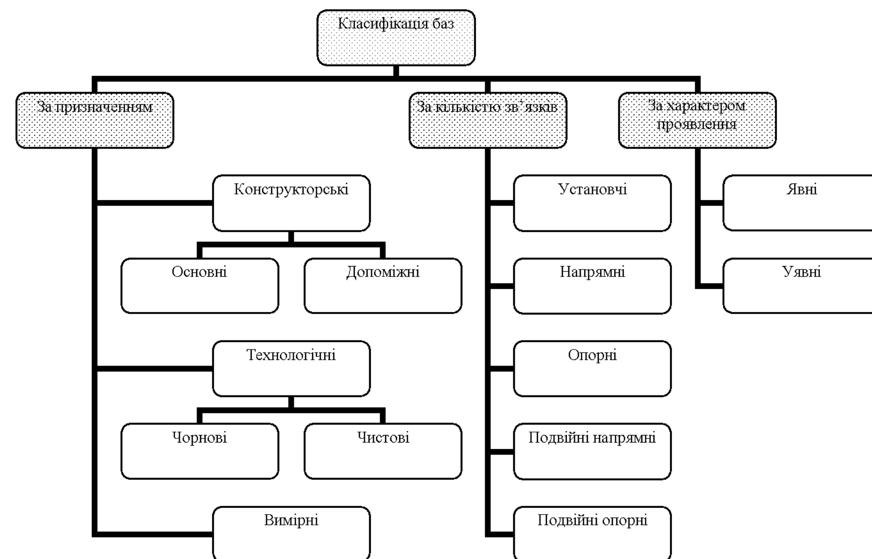


Рисунок 4.3 – Класифікація баз

Конструкторська база – база, яка використовується для визначення положення деталі або складальної одиниці в виробі [14]. Є основні і допоміжні конструкторські бази (рис.4.4).

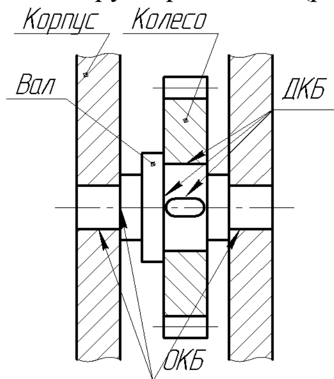


Рисунок 4.4 – Основні (ОКБ) та допоміжні (ДКБ) конструкторські бази для вала

Основна конструкторська база - база даної деталі або складальної одиниці, яка використовується для визначення їх положення в виробі [14] (рис.4.4).

Допоміжна конструкторська база - база даної деталі або складальної одиниці, яка використовується для визначення положення приєднаного до них виробу [14] (рис.4.4).

Вимірна база – база, яка використовується для визначення відносного положення заготовки або виробу і засобів вимірювання [14] (рис.4.8).

Технологічна база - база, яка використовується для визначення положення заготовки або виробу при виготовленні чи ремонті [14] (рис.4.8). Бувають чорнові і чистові технологічні бази. Крім того, за особливістю застосування технологічні бази поділяють на контактні, налагоджувальна і перевірочні.

Чорнова технологічна база – необроблені поверхні заготовки, які використовують для базування на перших операціях.

Чистова технологічна база – оброблені поверхні заготовки, які використовують для базування на другій і подальших операціях.

Налагоджувальна база – поверхня заготовки, відносно якої орієнтують оброблювані поверхні та інструмент.

Явна база – реальна поверхня, лінія або точка виробу чи заготовки, що використовується для базування [14].

Уявна (прихована) база - уявна поверхня, лінія або точка виробу чи заготовки, що використовується для базування [14].

Установча база – база, яка позбавляє заготовку трьох ступенів вільності: одного переміщення і двох поворотів [14].

Напрямна база – база, як позбавляє заготовку двох ступенів вільності: одного переміщення і одного повороту [14].

Опорна база - база, як позбавляє заготовку однієї ступені вільності: переміщення або повороту [14].

Подвійна напрямна база - база, як позбавляє заготовку чотирьох ступенів вільності: двох переміщень і двох поворотів [14].

Подвійна опорна база – база, як позбавляє заготовку двох ступенів вільності: двох переміщень [14].

Теоретична схема базування – схема розташування на базах опорних точок [14] (рис. 4.5-4.7).

Теоретична схема базування призматичних деталей:

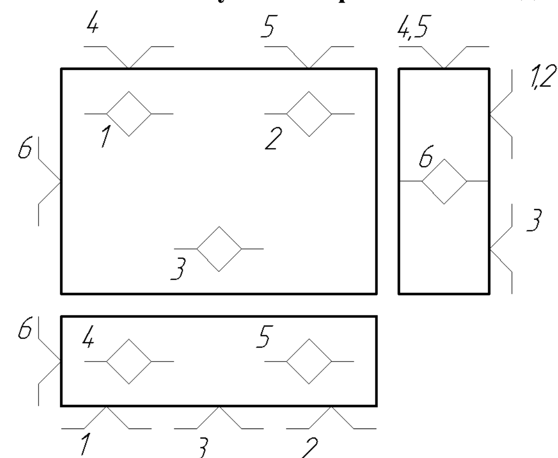


Рисунок 4.5 – Теоретична схема базування призматичних деталей: 1,2,3 – установча база; 4,5 – напрямна база; 6 – опорна база

Теоретична схема базування довгих циліндричних деталей (l>d):

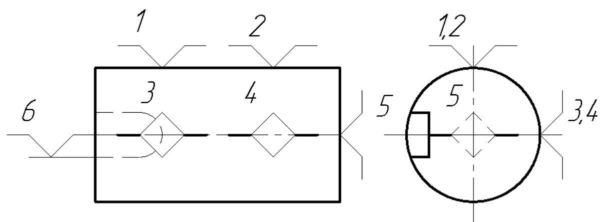


Рисунок 4.6 – Теоретична схема базування довгих циліндричних деталей (l>d): 1,2,3,4 – подвійна напрямна база; 5 – опорна база; 6 – опорна база

Теоретична схема базування коротких циліндричних деталей (l<d):

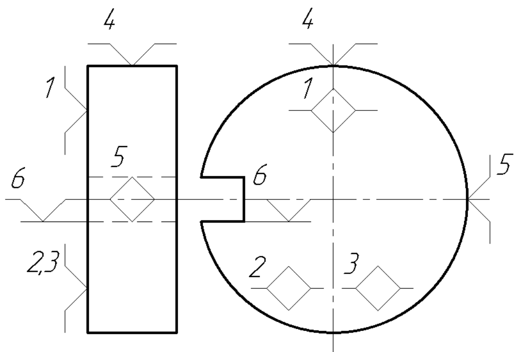


Рисунок 4.7 - Теоретична схема базування коротких циліндричних деталей (l<d): 1,2,3 – установча база; 4,5 – подвійна опорна база; 6 – опорна база

4.3 Похибка установки. Правила вибору чорнових і чистових технологічних баз

Під час обробки партії заготовок на заздалегідь налагодженому верстаті, на етапі установки заготовки на верстаті, може виникнути похибка установки, яка спричинюється похибками базування, закріплення і пристрою.

Похибка базування ($\Delta\varepsilon_б$) – відхилення фактичного положення заготовки при базуванні від заданого [14]. Виникає при обробці партії заготовок на заздалегідь налагодженому верстаті внаслідок неспівпадання вимірної і технологічної бази і визначається як поле розсіювання розміру, що з'єднує вимірну і технологічну бази.

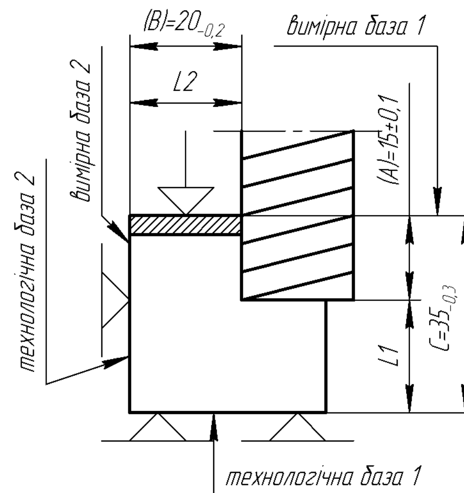


Рисунок 4.8 - Визначення похибки базування

Приклад 1. Конструктором задано розміри деталі *A*, *B*, *C*. Визначити похибки базування для розмірів *A* і *B*, які отримуються при фрезеруванні площини (рис.4.8).

Визначаємо технологічні і вимірні бази і складаємо технологічні розмірні ланцюги, в яких розміри *A* і *B* будуть замикаючими (оскільки отримуються останніми).

Якщо не враховувати інші похибки обробки (розсіювання технологічних розмірів Δ_{L1}, Δ_{L2} рівне нулю), то розсіювання замикаючої ланки *A* першого розмірного ланцюга:

$$\Delta_A = T_C + \Delta_{L1} = 0{,}3 + 0 = 0{,}3 \text{ мм.}$$

Отже, похибка базування дорівнює розсіюванню розміру, що з'єднує вимірну і технологічні бази (*C*):

$$\Delta\varepsilon_{бA} = \Delta_A = T_C > T_A.$$

Висновок: точність розміру *A* при даній схемі базування не може бути досягнута.

Розсіювання замикаючої ланки *B* другого розмірного ланцюга:

$$\Delta_B = \Delta_{L2} = 0,$$

$$\Delta_{\varepsilon бB} = \Delta_B < T_B.$$

Висновок: якщо сума похибки базування і інших похибок обробки не перевищуватиме T_B, то точність розміру *B* може бути досягнута.

Приклад 2. Конструктором по-різному може бути заданий

розмір, який визначає положення лиски на валику (рис.4.9). Визначити похибку базування при базуванні заготовки в призмі для кожного варіанта задання конструкторського розміру (*H1*, *H2*, *H3*). Діаметр валика *D*, технологічний розмір *Lн*, кут призми α.

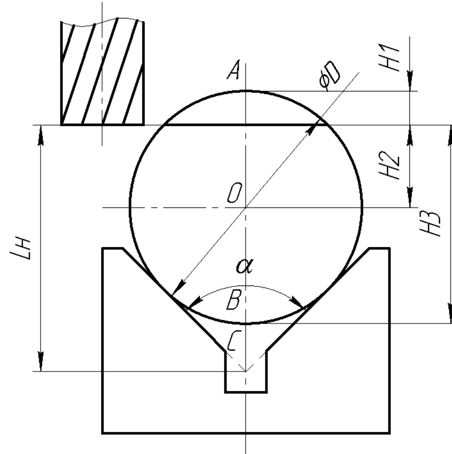


Рисунок 4.9 – Визначення похибки базування при базуванні заготовки в призмі

Для розміру *H1* вимірною базою буде точка *A*. Технологічною базою є точка *C*. Отже похибка базування рівна полю розсіювання розміру *AC*:

$$\Delta\varepsilon\text{б}_{H1} = \Delta AC = \frac{T_D}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + \frac{T_D}{2}.$$

Для розміру *H2* вимірною базою буде точка *O*. Отже похибка базування рівна полю розсіювання розміру *OC*:

$$\Delta\varepsilon\text{б}_{H2} = \Delta OC = \frac{T_D}{2\sin\frac{\alpha}{2}}.$$

Для розміру *H3* вимірною базою буде точка *B*. Отже похибка базування рівна полю розсіювання розміру *BC*:

$$\Delta\varepsilon\text{б}_{H3} = \Delta BC = \frac{T_D}{2\sin\frac{\alpha}{2}} - \frac{T_D}{2}.$$

Як видно, найменша похибка базування для розміру *H3*. Похибку базування можна зменшити збільшуючи кут призми α. Якщо α=180° (базування на площину), похибка базування для *H3* буде рівна нулеві.

Приклад 3. Визначити похибку базування для розміру *D* при базуванні заготовки по циліндричному отвору (рис.4.10).

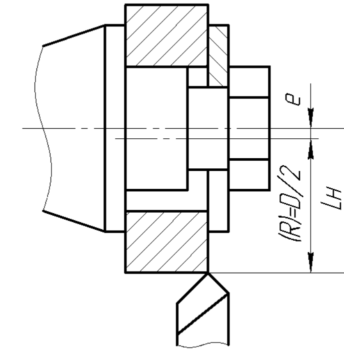


Рисунок 4.10 – Визначення похибки базування при базуванні заготовки по циліндричному отвору

$$\Delta_R=\Delta_e+\Delta_{Lн}=\Delta_e+0=e_{max}=\Delta_{max}/2=(\Delta_{min}+T_{опр}+T_{отв})/2,$$
$$\Delta\varepsilon_{бD}=2\Delta_R=\Delta_{max}=\Delta_{min}+T_{опр}+T_{отв},$$

де *e* – зміщення осей оправки і отвору, Δ_{min}, Δ_{max} – мінімальний і максимальний зазори між оправкою і отвором, $T_{опр}$, $T_{отв}$ – допуски на розмір оправки і отвору.

Приклад 4. Визначити похибку базування для розміру *a* при базуванні заготовки по конічному отвору (рис.4.11).

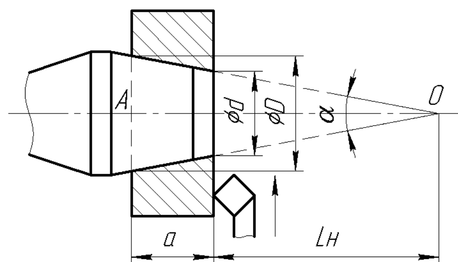


Рисунок 4.11 – Визначення похибки базування при базуванні заготовки по конічному отвору

Розмір, що з'єднує вимірну і технологічну бази:

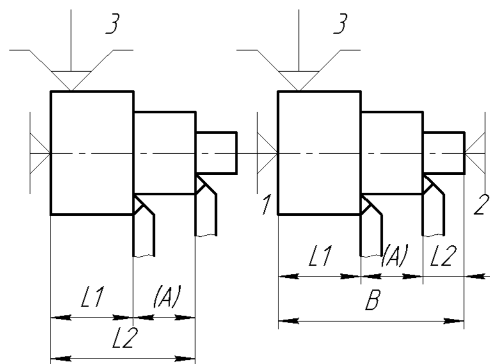
$$AO = \frac{D}{2} ctg \frac{\alpha}{2} = \frac{D}{2} \frac{a}{\frac{D-d}{2}} = D / \left(\frac{D-d}{a} \right) = D / k ,$$

$$\Delta\varepsilon_{б} = \Delta AO = T_D / k ,$$

де $k=(D-d)/a$ – конусність отвору.

Принцип суміщення (єдності) баз – з метою уникнення похибки базування (рівності її нулю) за технологічні бази вибирають вимірні і конструкторські бази.

Принцип постійності баз – з метою зменшення похибки взаємного розташування поверхонь, які обробляють від різних технологічних баз, намагаються використати одну і ту саму технологічну базу для обробки різних поверхонь.



а б

Рисунок 4.12 – Дотримування (а) і не дотримування (б) принципу постійності баз

Приклад (рис.4.12).

Варіант 1. Обробка обох поверхонь від однієї технологічної налагоджувальної бази (технологічні розміри *L1* і *L2*).

$$\Delta_A = \Delta_{L1} + \Delta_{L2}.$$

Варіант 2. Обробка однієї поверхні від технологічної налагоджувальної бази 1 (технологічний розмір *L1*) і іншої від технологічної налагоджувальної бази 2 (технологічний розмір *L2*).

$$\Delta_A = \Delta_B + \Delta_{L1} + \Delta_{L2}.$$

Правила вибору чорнових технологічних баз:

1 Якщо деталь не обробляють з усіх сторін, то за чорнові бази вибирають поверхні, які в подальшому не обробляють і не використовують.

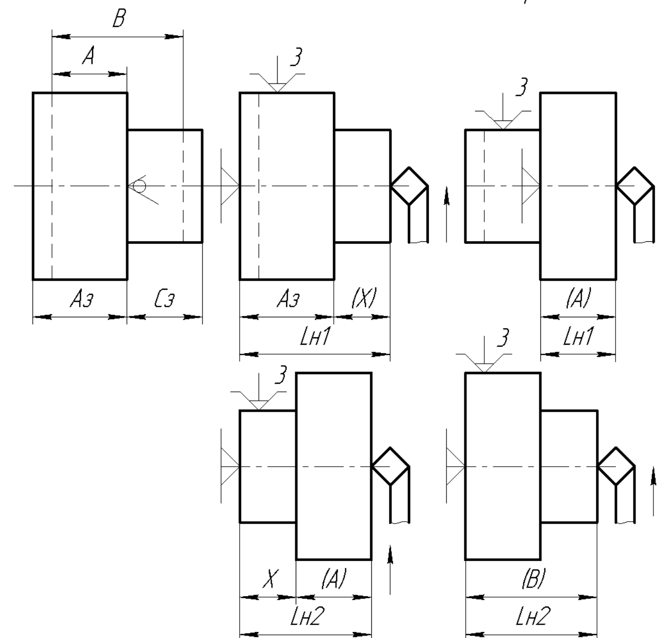


Рисунок 4.13 – Вибір чорнових баз: варіант 1 – не правильно, варіант 2 - правильно

Приклад (рис.4.13).

Варіант 1.
Етап 1:

$$\Delta_X=\Delta_{Аз}+\Delta_{Lн1}.$$

Етап 2:

$$\Delta_A=\Delta_X+\Delta_{Lн2}=\Delta_{Аз}+\Delta_{Lн1}+\Delta_{Lн2},$$

$$\Delta_B=\Delta_{Lн2}.$$

Варіант 2.
Етап 1:

$$\Delta_A=\Delta_{Lн1}.$$

Етап 2:

$$\Delta_B=\Delta_{Lн2}.$$

Отже кращим варіантом є другий, де за чорнову базу вибирають необроблювану поверхню.

2 Якщо деталь обробляють з усіх сторін, то за чорнові бази вибирають поверхні, які мають найменші припуски на обробку.

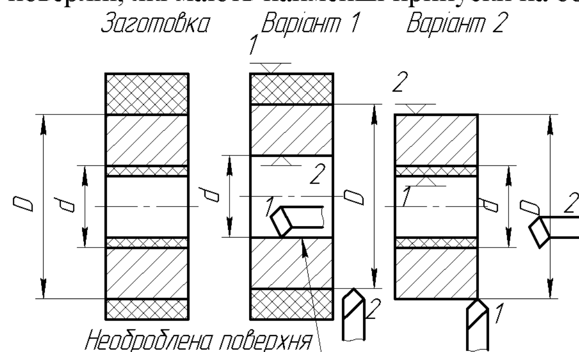


Рисунок 4.14 – Вибір чорнових баз:
варіант 1 – не правильно, варіант 2 - правильно

Приклад (рис.4.14). Необхідно вибрати чорнову базу для першої операції.

Варіант 1. Якщо за чорнову базу вибирається зовнішня поверхня з великим припуском, то при розточуванні отвору можлива поява необробленої поверхні.

Варіант 2. Якщо за чорнову базу вибирається внутрішня поверхня з малим припуском, то проблем не виникає.

3 За чорнові бази слід вибирати поверхні рівні і чисті, які найбільш точно отримуються при виготовленні заготовки.

4 Повторна установка на чорнові бази небажана.

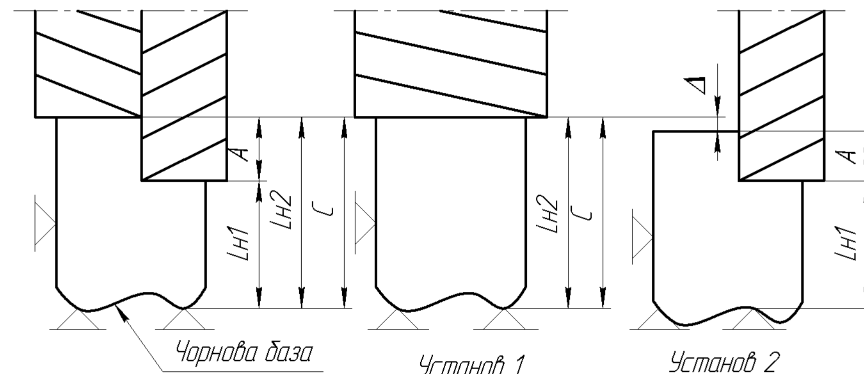


Рисунок 4.15 – Обробка з одного установа (варіант 1), повторна установка на чорнову базу (варіант 2)

Приклад (рис.4.15). Чорнова база умовно показана як дуже нерівна поверхня.

Варіант 1.

а) Обробка з одного установа двома фрезами окремо.

$$\Delta_A=\Delta_{Lн1}+\Delta_{Lн2}.$$

б) Обробка одночасно набором фрез. Похибку від неточності виготовлення фрез не враховуємо. В цьому випадку похибка установки для розміру *A* відсутня.

$$\Delta_A=0.$$

Варіант 2.

Обробка на двох установах. Відбувається повторна установка на чорнову базу. Нерівність чорнової бази призводить до появи похибки Δ:

$$\Delta_A=\Delta_{Lн1}+\Delta_{Lн2}+\Delta.$$

Правила вибору чистових технологічних баз:

1 За чистові бази слід вибирати основні конструкторські бази.

2 Слід дотримуватися принципу суміщення баз.

3 Слід дотримуватися принципу постійності баз.

4 За чистові бази вибирають поверхні, які найменше деформуються під дією сил затиску і обробки.

5 При виборі чистових баз слід враховувати: зручність установки заготовки, вільний доступ до найбільшої кількості оброблюваних поверхонь, простоту пристрою.

Похибка закріплення ($\Delta\varepsilon_з$) виникає при обробці партії

заготовок на заздалегідь налагодженому верстаті внаслідок деформації заготовки силами затиску і залежить від:

1 Жорсткості заготовки.

2 Твердості і шорсткості поверхонь заготовки і опорних поверхонь пристрою.

3 Непостійності сили закріплення.

Визначають похибку закріплення як поле розсіювання положень вимірної бази (рис.4.16).

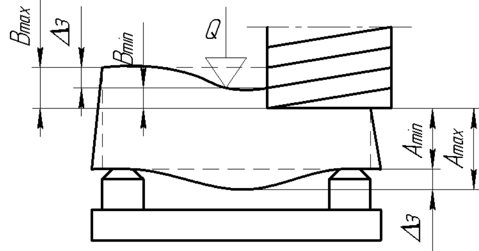


Рисунок 4.16 – Визначення похибки закріплення

Для розміру А: $\Delta_з=A_{max}-A_{min}$.

Для розміру В: $\Delta_з=B_{max}-B_{min}$.

Сумарна величина похибки закріплення:

$$\Delta_з=\Delta_з'+\Delta_з'',$$

де $\Delta_з'$ - частина похибки закріплення, спричинена деформацією заготовки (визначається експериментально або розрахунком), $\Delta_з''$ - частина похибки закріплення, спричинена контактними деформаціями опорних поверхонь:

$$\Delta_з''=CP_{max}^{n}-CP_{min}^{n},$$

де C – коефіцієнт, який характеризує вид контакту, матеріал заготовки, шорсткість і стан поверхневого шару, n – показник степеня ($n<1$), P_{max}, P_{min} – максимальна і мінімальна сила, яка діє на опору.

Шляхи зменшення похибки закріплення:

1 Зміна схеми прикладання сили закріплення, рівномірний розподіл сили закріплення (наприклад, застосування цангових або гідропластових пристроїв і т.п).

2 Збільшення жорсткості заготовки.

3 Забезпечення постійної сили закріплення (наприклад, за допомогою пневмоприводів).

4 Правильний вибір опорних елементів пристроїв.

Похибка пристрою ($\Delta\varepsilon_{пр}$) виникає при обробці партії заготовок на заздалегідь налагодженому верстаті внаслідок

неточності виготовлення і спрацювання опорних та напрямних елементів пристрою, а також внаслідок неточності установки пристрою на верстаті. Визначають як поле розсіювання положень технологічної бази (рис.4.17). При застосуванні багатомісних пристроїв і пристроїв-супутників на попередньо налагоджених верстатах похибка пристрою є випадковою величиною і не може бути врахована в процесі налагодження верстата.

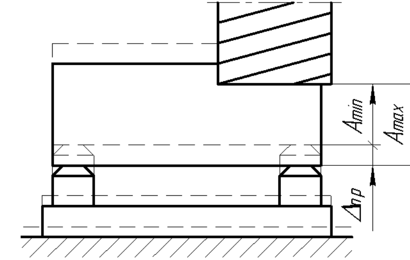


Рисунок 4.17 – Визначення похибки пристрою

Похибка установки ($\Delta\varepsilon_y$) **-** відхилення фактичного положення заготовки при установці від заданого [14]. Визначається як сума похибок базування, закріплення і пристрою. Ці похибки є випадковими, тому їх слід сумувати так:

$$\Delta\varepsilon_y=\sqrt{\Delta\varepsilon_б^2+\Delta\varepsilon_з^2+\Delta\varepsilon_{пр}^2}. \quad (4.1)$$

4.4 Методи налагодження. Похибка розмірного налагодження

Налагодження - процес підготовки технологічного обладнання і оснастки до виконання технологічної операції [13].

Задачі налагодження:

1 Установка різальних інструментів і пристроїв в оптимальні положення з точки зору умов різання, продуктивності, стійкості інструмента і якості поверхні виробу.

2 Забезпечення точності взаємного розташування інструментів відносно виробу - розмірне налагодження.

3 Установка оптимальних режимів різання.

Розглянемо детальніше задачу розмірного налагодження. В дрібносерійному виробництві використовують індивідуальний метод досягнення точності (верстат налагоджується методом пробних ходів і вимірювань для кожної деталі). В великосерійному

виробництві використовується автоматичний метод досягнення точності (верстат налагоджується для обробки партії деталей попередньо). Оскільки в процесі обробки матимуть місце різноманітні похибки обробки, то проблемою є налагодити інструмент на такий розмір, щоб розміри всіх деталей партії знаходились в межах поля допуску. Для цього використовують наступні методи.

Методи налагодження верстата для автоматичного отримання розміру:

1 Статичне налагодження.

2 Налагодження за пробними заготовками за допомогою робочого калібру.

3 Налагодження за пробними заготовками за допомогою універсального вимірного інструмента.

Статичне налагодження полягає в налагодженні різальних інструментів за калібрами чи еталонами на нерухомому верстаті. Налагоджувальний розмір (рис.4.18) визначається так:

$$\boxed{L_н = L_{ет} = L_{дет} \pm \Delta_{попр}}, \qquad (4.2)$$

де $L_{ет}$ – розмір еталона, $L_{дет}$ – розмір деталі, $\Delta_{попр}$ – поправка: «-» - для обробки вала, «+» - для обробки отвору:

$$\Delta_{попр} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3,$$

Δ_1 – поправка, яка враховує дію сил різання P_y і жорсткість системи j: $\Delta_1 = P_y/j$, Δ_2 – поправка, яка враховує шорсткість деталі R_z: $\Delta_2 = R_z$, Δ_3 – поправка, яка враховує зазор у підшипниках шпинделя.

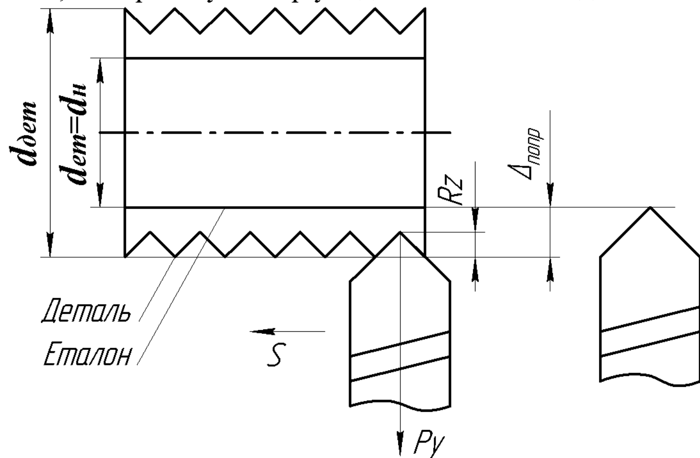


Рисунок 4.18 – Статичне налагодження токарного верстата

Налагодження за пробними заготовками за допомогою робочого калібру полягає в тому, що після налагодження за еталоном робітник повинен виготовити певну кількість пробних заготовок і, якщо їх розміри знаходяться в межах допуску T (що перевіряється калібром) налагодження вважається правильним (рис. 4.19). Недолік методу – пробна заготовка може відповідати точці А, яка належать до кривої, поле розсіювання якої виходить за межі поля допуску, що стане причиною браку.

Удосконалимо цей метод. Оскільки 1 і 2 це крайні допустимі положення кривої розсіювання розмірів деталей, то потрібно, щоб середній розмір пробних заготовок $Lсер$ лежав межах від $Lсер_{min}$ до $Lсер_{max}$. Тобто в межах допуску на налагодження $Tн$:

$$Tн = Lсер_{max} - Lсер_{min} = T - 6\sigma,$$

де T - допуск на розмір;

6σ - ширина поля розсіювання розмірів деталей.

Для точного визначення $Lсер$ і 6σ кількість пробних заготовок повинна бути досить великою.

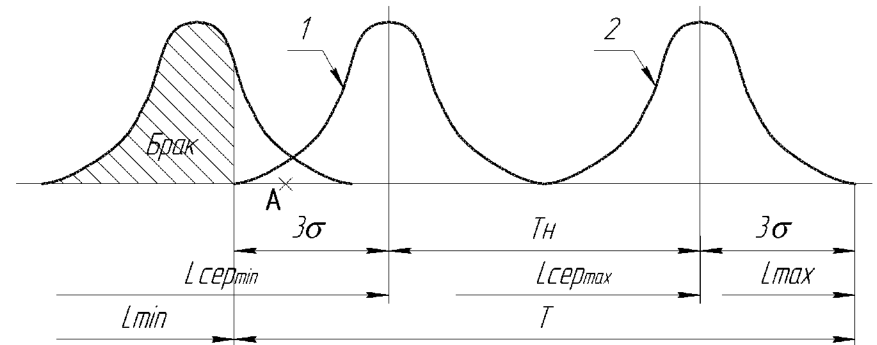


Рисунок 4.19 - Налагодження за пробними заготовками за допомогою робочого калібру

Налагодження за пробними заготовками за допомогою універсального вимірного інструмента полягає в тому, що правильність налагодження перевіряється обробкою m пробних заготовок і, якщо середнє арифметичне їх розмірів знаходиться в межах поля допуску на налагодження $T_н$, то налагодження вважається правильним.

Цей метод оснований на тому, що якщо розміри деталей партії (з n штук) підлягають нормальному закону розподілу з шириною поля розсіювання 6σ, то середні розміри n/m груп пробних

заготовок (по m штук кожна) також підлягатимуть нормальному закону розподілу з шириною поля розсіювання $6\sigma/\sqrt{m}$ і таким самим середнім арифметичним. На рис. 4.20 показано крайні допустимі положення кривої розсіювання розмірів деталей і відповідні положення кривої розсіювання середніх розмірів груп пробних заготовок. Тому потрібно, щоб середній розмір пробних заготовок $L^{гр.ср}$ лежав межах від $L^{гр.ср}_{\min}$ до $L^{гр.ср}_{\max}$. Тобто в межах допуску на налагодження *Тн*:

Без врахування змінних систематичних похибок (рис.4. 20):

$$T_н = L^{гр.ср}_{\max} - L^{гр.ср}_{\min} = T - 6\sigma - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}}, \qquad (4.3)$$

де мінімальний налагоджувальний розмір: $L^{гр.ср}_{\min} = L_{\min} + 3\sigma + \dfrac{3\sigma}{\sqrt{m}}$,

максимальний налагоджувальний розмір: $L^{гр.ср}_{\max} = L_{\max} - 3\sigma - \dfrac{3\sigma}{\sqrt{m}}$,

L_{min} – мінімальний розмір деталі, L_{max} – максимальний розмір деталі, T – допуск деталі, 6σ – поле розсіювання розмірів деталей, $6\sigma/\sqrt{m}$ - поле розсіювання середніх розмірів груп пробних заготовок.

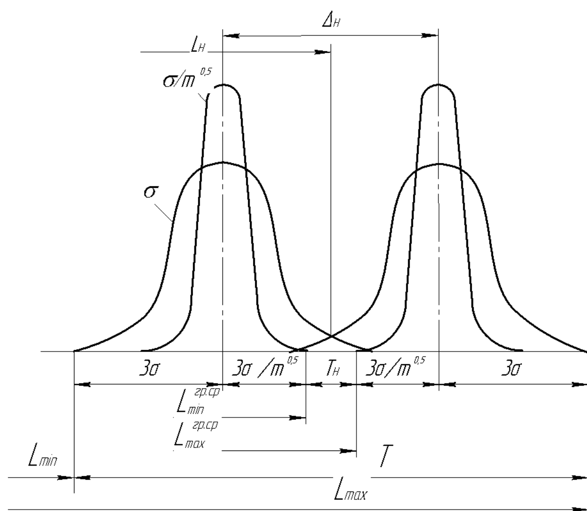


Рисунок 4.20 - Налагодження за пробними заготовками за допомогою універсального вимірного інструмента

З врахуванням змінних систематичних похибок (рис.4.21):

$$T_н = L^{гр.ср}_{\max} - L^{гр.ср}_{\min} = T - 6\sigma - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}} - b, \qquad (4.4)$$

де $L^{гр.ср}_{\min} = L_{\min} + 3\sigma + \dfrac{3\sigma}{\sqrt{m}}$, $L^{гр.ср}_{\max} = L_{\max} - 3\sigma - \dfrac{3\sigma}{\sqrt{m}} - b$, b – величина, яка використовується для компенсації систематичних змінних похибок обробки.

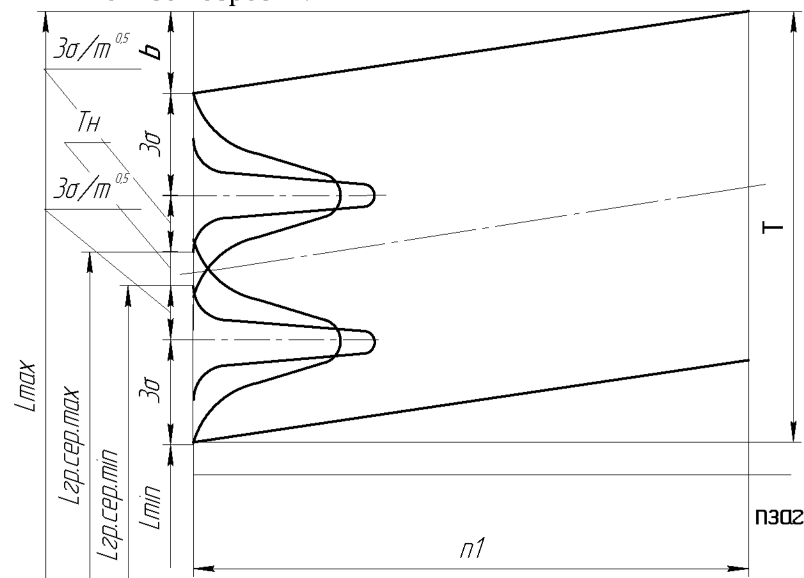


Рисунок 4.21 - Налагодження за пробними заготовками за допомогою універсального вимірного інструмента з врахуванням змінної систематичної похибки

Похибка розмірного налагодження ($\Delta_н$) – поле розсіювання положень інструмента, яке виникає при налагодженні технологічної системи (рис.4.20).

При статичному налагодженні:

$$\boxed{\Delta_н = 1{,}2\sqrt{\Delta_{ет}^2 + \Delta_{рег}^2}}, \qquad (4.5)$$

де $\Delta_{ет}$ – похибка еталона, $\Delta_{рег}$ – похибка регулювання.

При налагодженні за пробними заготовками за допомогою універсального вимірного інструмента:

$$\boxed{\Delta_н = 1{,}2\sqrt{\Delta_{розр}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{вим}^2}}, \qquad (4.6)$$

де $\Delta_{розр}$ – похибка розрахунку (зміщення), яка являє собою зміщення центру групування групових середніх розмірів пробних заготовок:

$$\Delta_{розр} = 6\sigma / \sqrt{m} = \omega_M / \sqrt{m},$$

де $\omega_м$ – поле миттєвого розсіювання розмірів, яке залежить від виду обробки,

$\Delta_{рег}$ – похибка регулювання,

$\Delta_{вим}$ – похибка вимірювання.

Похибка регулювання ($\Delta_{рег}$) – похибка засобів регулювання положення інструмента на верстаті (лімбів, індикаторів, упорів) (рис.4.22).

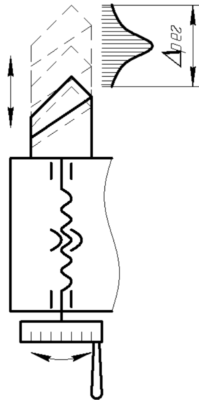


Рисунок 4.22 - Похибка регулювання

Похибка вимірювання ($\Delta_{вим}$) – це гранична похибка вимірного інструмента.

4.5 Жорсткість технологічної системи. Динамічна похибка обробки

Жорсткість технологічної системи - її здатність чинити опір

дії деформуючих сил. Жорсткість технологічної системи (j) чисельно дорівнює відношенню нормальної складової сили різання P_y до сумарного взаємного переміщення (y) леза інструмента і поверхні заготовки в напрямку нормалі до цієї поверхні (рис.4.23):

$$\boxed{j = \frac{P_y}{y}}. \qquad (4.7)$$

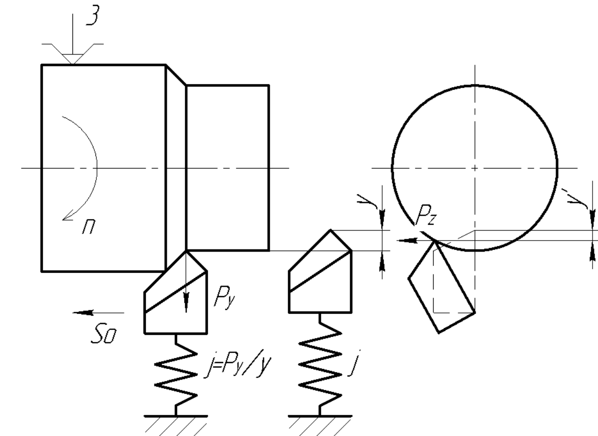


Рисунок 4.23 – Жорсткість технологічної системи

Величина y' суттєво менша y тому нею часто нехтують. Нерідко величину j називають коефіцієнтом жорсткості, а не жорсткістю, оскільки вона враховує дію тільки однієї складової сили різання P_y.

Жорсткість технологічної системи при обробці вала в центрах на токарному верстаті (рис.4.24) знаходиться з рівняння:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{суп}} + \left(\frac{a}{l}\right)^2 \frac{1}{j_{п.б.}} + \left(\frac{l-a}{l}\right)^2 \frac{1}{j_{з.б.}} + \frac{1}{j_{дет}},$$

де $j_{суп}$ – жорсткість супорта, $j_{п.б.}$ - жорсткість передньої бабки, $j_{з.б.}$ - жорсткість задньої бабки, $j_{дет}$ - жорсткість деталі.

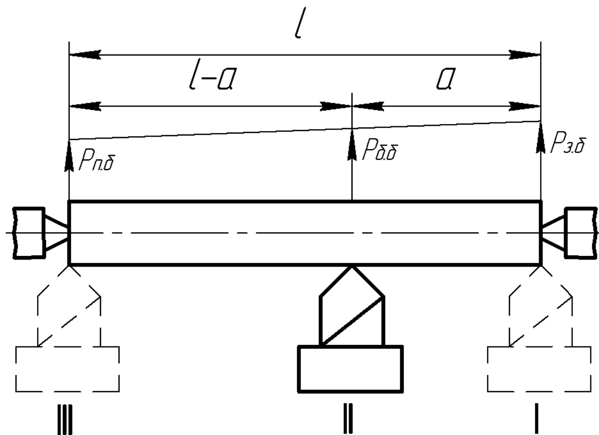


Рисунок 4.24 – Схема визначення жорсткості технологічної системи при обробці вала в центрах на токарному верстаті

При положенні різця в середній частині вала:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{суп}} + \frac{1}{4\,j_{п.б.}} + \frac{1}{4\,j_{з.б.}} + \frac{4l^3}{3\pi E d^4}, \qquad (4.8)$$

де E – модуль пружності матеріалу вала, d – діаметр вала.

При недостатній жорсткості деталі або бабок виникають похибки форми (рис.4.25):

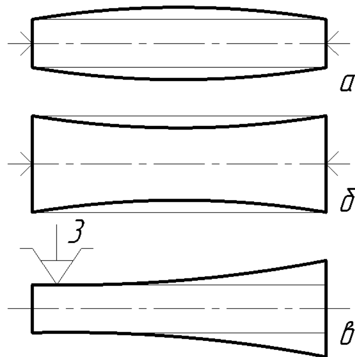


Рисунок 4.25 - Похибки форми при обробці на токарному верстаті: а, в - нежорстка деталь, б - нежорсткі бабки

Податливість технологічної системи (ω) – її властивість

пружно деформуватись під дією зовнішніх сил, величина обернена до жорсткості:

$$\omega = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}.$$

Методи експериментального визначення жорсткості системи ВПІД:

Статичний метод полягає у навантажуванні нерухомого верстата силами, які моделюють сили різання і визначенні при цьому переміщень вузлів верстата. Наприклад, жорсткість технологічної системи для випадку установленого на токарному верстаті вала в центрах визначається за допомогою динамометра, закріпленого в різцетримачі, та індикаторів, установлених біля різцетримача, заднього та переднього центра (рис.4.26). За допомогою рукоятки поперечної подачі верстат поступово навантажують силою, а зміщення вузлів верстата реєструють індикаторами. За допомогою побудованого графіка зміщень (рис.4.27) визначають жорсткість вузлів і величини зазорів ($y_з$):

жорсткість супорта: $j_{суп} = \dfrac{P_{\max}}{y_{суп\max}}$,

жорсткість передньої бабки: $j_{пб} = \dfrac{P_{\max}}{2y_{пб\max}}$,

жорсткість задньої бабки: $j_{зб} = \dfrac{P_{\max}}{2y_{зб\max}}$,

де P_{max} – максимальне навантаження на динамометрі; $y_{суп\max}$, $y_{зб\max}$, $y_{зб\max}$ – покази індикаторів, установлених відповідно біля різцетримача, переднього і заднього центра, які відповідають максимальному навантаженню.

Вузли токарного верстата 1К62 мають приблизно таку жорсткість: передня бабка $j_{пб} \sim 100 \cdot 10^3$ Н/мм, задня бабка $j_{зб} \sim 50 \cdot 10^3$ Н/мм, супорт $j_{суп} \sim 75 \cdot 10^3$ Н/мм.

Жорсткість технологічної системи знаходять з рівняння 4.8.

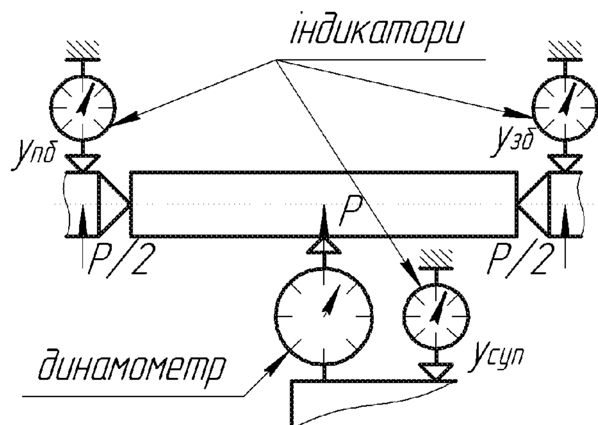


Рисунок 4.26 – Визначення жорсткості супорта, передньої бабки і задньої бабки токарного верстата

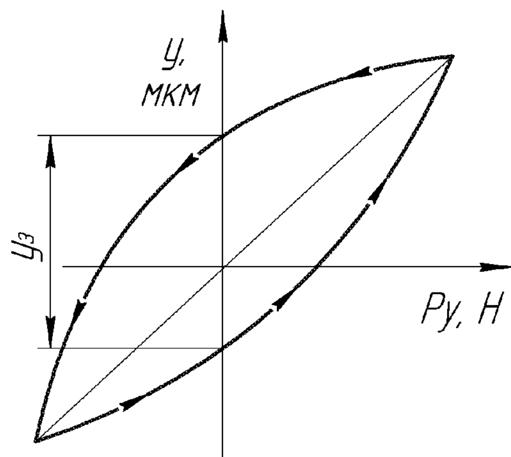


Рисунок 4.27 – Графік зміщень у вузлі (y) під дією навантаження (P_y)

За даними Маталіна А.А. [1] жорсткість токарних верстатів з висотою центрів 200 мм найчастіше дорівнює $10 \cdot 10^3 ... 20 \cdot 10^3$ Н/мм.

Динамічний метод полягає у обробці на верстаті ділянок заготовки з різними глибинами різання t_1і t_2 і визначення пружних відтискань інструмента на цих ділянках y_1 і y_2 (рис.4.28).

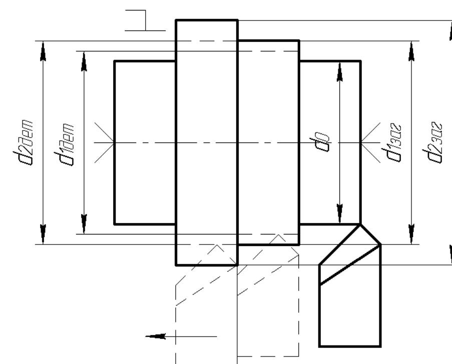


Рисунок 4.28 – Визначення жорсткості системи ВПІД динамічним методом

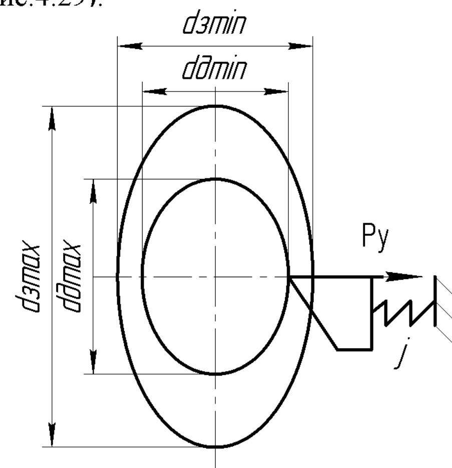
Жорсткість системи наближено знаходиться з рівняння (4.9):

$$j = \frac{\lambda C_p s^{y_p} \Delta_{заг}}{\Delta_{дет}},$$

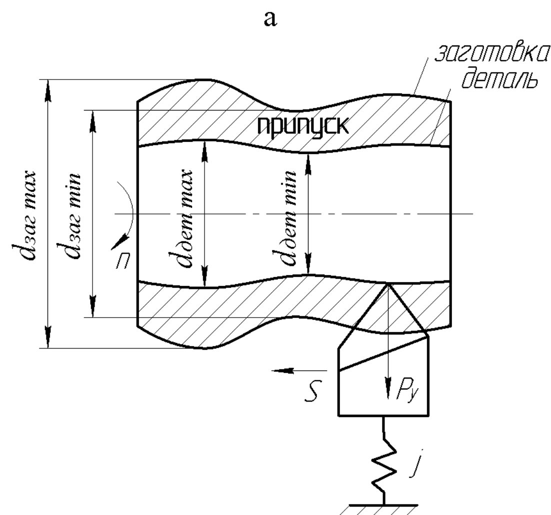
де $\Delta_{дет} = y_1 - y_2 = (d_{2дет} - d_{1дет})/2$,

$\Delta_{заг} = t_1 - t_2 = (d_{2заг} - d_{1заг})/2$.

Динамічна похибка обробки (Δ_y) виникає внаслідок непостійності сили різання P_y в технологічній системі з певною жорсткістю j (рис.4.29):



а



б

Рисунок 4.29 - Вплив точності заготовки на точність деталі при точінні: а – в поперечному перетині, б – в повздовжньому перетині

$$\Delta_y = \Delta_{дет} = \frac{P_y^{\max} - P_y^{\min}}{j} \approx \frac{\lambda C_p s^{y_p}(t_{\max} - t_{\min})}{j} = \frac{\lambda C_p s^{y_p}}{j}\Delta_{заг}, \quad (4.9)$$

де $\Delta_{дет}=(d_{дет\,\max}-d_{дет\,\min})/2$ – похибка деталі,

$\Delta_{заг}=(d_{заг\,\max}-d_{заг\,\min})/2=t_{max}-t_{min}$ – похибка заготовки,

$P_y^{\max}$ - максимальна сила різання: $P_y^{\max} = \lambda C_p t_{\max}^{x_p} s^{y_p}$,

$P_y^{\min}$ - мінімальна сила різання: $P_y^{\min} = \lambda C_p t_{\min}^{x_p} s^{y_p}$,

де λ, C_p, x_p, y_p - коефіцієнти що залежать від умов обробки, t – глибина різання, s – подача.

Уточнення (η) показує, у скільки разів точність деталі підвищується у порівнянні з точністю заготовки. Для одного переходу:

$$\eta = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дет}} = \frac{j}{\lambda C_p s^{y_p}}. \quad (4.10)$$

Для кількох переходів:

$$\eta = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дет}} = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_1}\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\dots\frac{\Delta_n}{\Delta_{дет}} = \prod_{i=1}^{n}\eta_i = \left(\frac{j}{\lambda C_p}\right)^n \frac{1}{\prod_{i=1}^{n} s_i^{y_p}}, \quad (4.11)$$

де n – кількість переходів, s_i – подача на i-му переході, η_i – уточнення на i-му переході, Δ_i - похибка заготовки після i-го переходу.

Коефіцієнт зменшення похибок $k_y=1/\eta$.

Шляхи зменшення динамічної похибки обробки:

1 Підвищення жорсткості системи ВПІД:

1.1 Вибір більш жорсткого верстата, своєчасний профілактичний ремонт верстата.

1.2 Підвищення жорсткості пристроїв та інструмента: зменшення вильоту інструмента, збільшення площі поперечного січення оправок, збільшення кількості кулачків в патронах, застосування люнетів і т.д.

1.3 Зменшення кількості ланок технологічної системи.

1.4 Підвищення якості виготовлення і складання деталей технологічної системи.

1.5 Правильний режим експлуатації верстатів.

2 Правильний вибір режимів різання, особливо подачі і кількості переходів (рис.4.30):

$$s = \left(\frac{j}{\lambda C_p \eta}\right)^{4/3}.$$

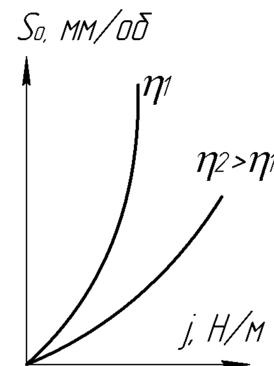


Рисунок 4.30 – Залежність подачі (*So*) від жорсткості технологічної системи (*j*) і заданого уточнення (η)

3 Підвищення точності заготовки.

4 Зменшення нерівномірності твердості оброблюваного матеріалу.

5 Вибір геометрії інструментів. Наприклад, збільшення головного кута у плані токарного різця призводить до зменшення сили різання P_y.

6 Контроль за спрацюванням інструмента (оскільки спрацьований інструмент переважно збільшує силу різання).

7 Застосування систем керування пружними деформаціями системи ВПІД.

4.6 Похибки від температурної деформації

В процесі різання виділяється теплота, яка переходить в стружку, інструмент і заготовку. Це призводить до їх температурної деформації, яка може стати причиною похибки обробки.

Похибка від температурної деформації різального інструмента (Δ_m) – це систематична змінна похибка, яка виникає внаслідок зміни температури і теплової деформації інструмента у процесі різання (рис.4.31). Залежність температурної деформації ξ токарного різця від часу нагрівання (охолодження) можна описати так (рис.4.32):

$$\xi = \xi_m \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_{c1}}}\right) \text{ (при нагріванні),} \qquad (4.12)$$

$$\xi = \xi_m e^{-\frac{\tau}{\tau_{c2}}} \text{ (при охолодженні),} \qquad (4.13)$$

де τ – час нагрівання (охолодження) різця, хв; τ_{c1} – константа при нагріванні: $\tau_{c1}\approx 3...6$ хв; τ_{c2} – константа при охолодженні, хв; ξ_m - максимальне видовження токарного різця у стані теплової рівноваги, мкм, яке відбувається в момент часу $\tau_{max}\approx 4\cdot\tau_{c1}$:

$$\xi_m = C\frac{L_p}{F}\sigma_в t^{0,75} S^{0,75} V^{0,5}, \qquad (4.14)$$

де C – константа, яка залежить від умов обробки, приймають $C\approx 0,45$; L_p - довжина вильоту різця, мм; F – площа поперечного

перетину державки, мм^2; $\sigma_в$ - границя міцності оброблюваного матеріалу, Н/мм^2; t, s, V - глибина, подача і швидкість різання (відповідно мм, мм/об, м/хв).

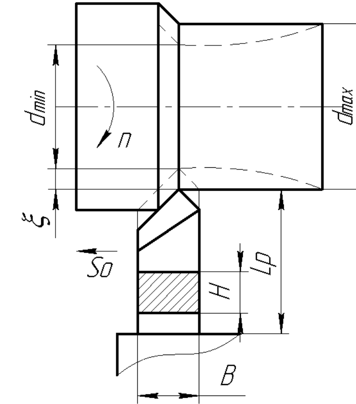


Рисунок 4.31 – Температурна деформація токарного різця

Для визначення похибки від температурної деформації інструмента при обробці з періодичними перервами у різанні (час $t_{пер}$) величину ξ множать на величину $t_o/(t_o+t_{пер})$, де t_o – основний час, $t_o+t_{пер}=t_{оп}$ – оперативний час.

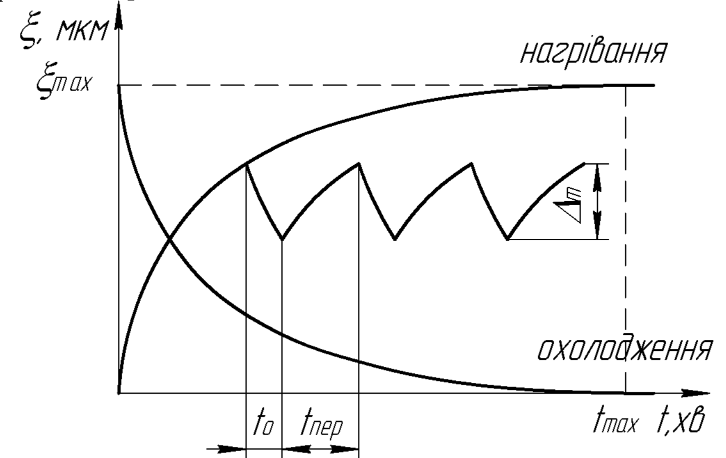


Рисунок 4.32 – Залежність температурної деформації інструмента від часу обробки

Шляхи зменшення похибки від температурної деформації різального інструмента:

1 Застосування мастильно-охолоджувальних рідин (МОР).

2 Покращення умов відводу тепла шляхом зміни геометрії інструмента (зменшення вильоту різця, збільшення поперечного перетину державки, зменшення заднього кута).

3 Зменшення діапазону зміни розміру інструмента при його нагріванні і охолодженні шляхом ритмічних перерв у різанні при обробці партії заготовок.

4 Зміна режимів різання (зменшення швидкості, глибини різання і подачі).

Похибка від температурної деформації верстата - це систематична змінна похибка, яка виникає внаслідок зміни температури і теплової деформації вузлів верстата. Причиною зміни температури вузлів може бути: тертя деталей привода, вплив нагрітої стружки, зовнішні чинники. Наприклад, вертикальне зміщення осі шпинделя Δ_H токарного верстата при зміні температури масла в коробці швидкостей з t_1 до t_2 визначається так (рис.4.33):

$$\Delta_H = K\alpha H(t_1 - t_2),$$

де K – дослідний коефіцієнт, α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу коробки швидкостей, H – висота центрів.

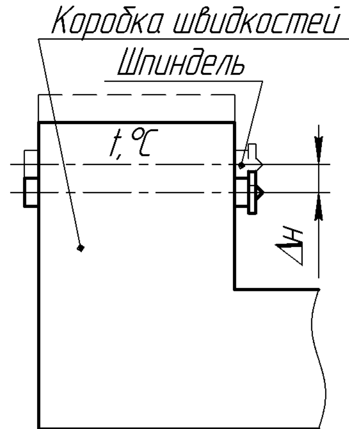


Рисунок 4.33 – Вертикальне зміщення осі шпинделя при температурній деформації токарного верстата

Для зменшення похибки від температурної деформації верстатів проводять обробку на попередньо прогрітих верстатах, застосовують системи автоматичної компенсації теплових деформацій.

Похибка від температурної деформації заготовки - це систематична змінна похибка, яка виникає внаслідок зміни температури і теплової деформації заготовки у процесі різання. Найчастіше береться до уваги при обробці тонкостінних та великогабаритних точних деталей (рис.4.34).

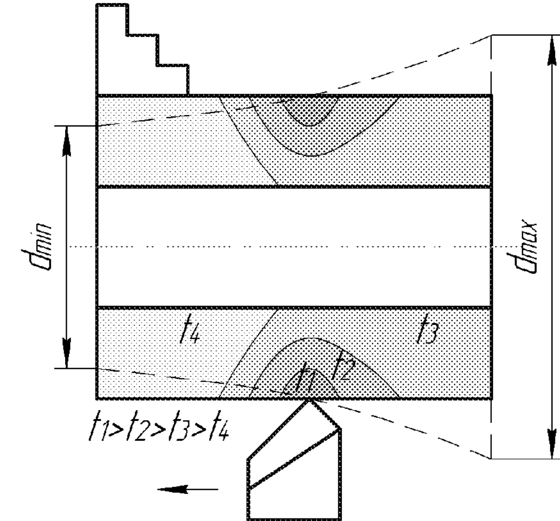


Рисунок 4.34 – Температурне поле та температурна деформація заготовки

4.7 Похибка від розмірного спрацювання інструмента

Похибка від розмірного спрацювання інструмента (Δ_i) - це систематична змінна похибка, яка виникає внаслідок розмірного спрацювання u інструмента у процесі різання (рис.4.35, 4.36). Величину розмірного спрацювання токарного різця можна визначити за емпіричною формулою:

$$\boxed{u = u_n + u_0 \cdot L = u_0(L_{\partial o\partial} + L)}, \text{ мкм} \qquad (4.15)$$

де u_n – початкове спрацювання інструмента в період його припрацювання (I); u_0 - відносне спрацювання інструмента (інтенсивність спрацювання), мкм/км; L - шлях різання

$$L = \frac{Vt}{1000} = \frac{\pi Dl}{10^6 s}, \text{ км};$$

де V – швидкість різання, м/хв; t - час обробки, хв; D - діаметр обробки, мм; l - довжина обробки, мм; s - подача, мм/об.

$L_{дод}$ – умовний додатковий шлях різання, км ($L_{дод}$≈0,5...1,5 км).

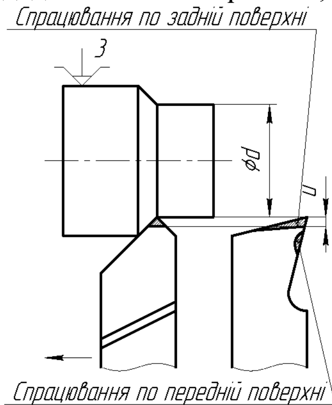


Рисунок 4.35 – Види спрацювання та розмірне спрацювання (u) токарного різця

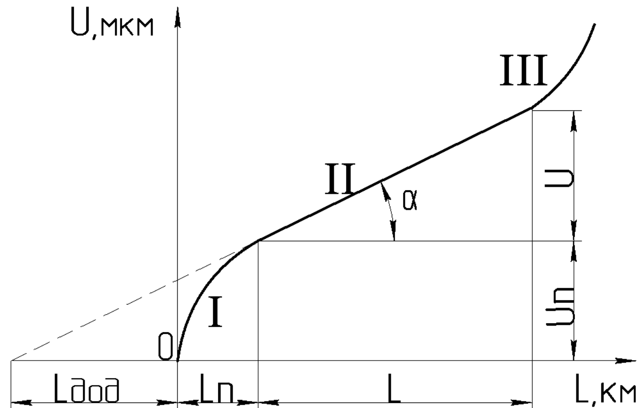


Рисунок 4.36 – Залежність розмірного спрацювання інструмента від шляху різання: I - період припрацювання, II - період нормального спрацювання, III - період катастрофічного спрацювання

Відносне спрацювання інструмента (u_0) характеризує інтенсивність спрацювання інструмента у період його нормального

спрацювання (II) і визначається як відношення спрацювання інструмента u до шляху різання в цей період L.

$$u_0 = \frac{u}{L}, \text{ мкм/км} \quad (4.16)$$

Відносне спрацювання інструмента u_0 найбільше залежить від:

1 Матеріалу різального інструмента.

2 Матеріалу заготовки.

3 Жорсткості технологічної системи (при збільшенні жорсткості відносне спрацювання зменшується внаслідок зменшення вібрацій).

4 Виду обробки (наприклад, при фрезеруванні і розточуванні відносне спрацюванні більше, ніж при зовнішньому точінні).

5 Швидкості різання (при збільшенні швидкості різання збільшується температура і, відповідно, змінюються фізико-хімічні процеси в зоні різання і види спрацювання інструмента (рис.4.37)).

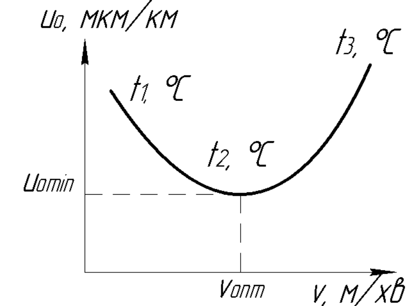


Рисунок 4.37 – Залежність відносного спрацювання різця від швидкості різання (температура в зоні різання $t_1<t_2<t_3$)

6 Подачі (при збільшенні подачі відносне спрацювання дещо збільшується, але відповідно до формули 4.15 абсолютне спрацювання u може зменшитись).

7 Геометрії інструмента (наприклад, при збільшенні заднього кута u_0 збільшується, при застосуванні широких різців - зменшується).

8 Застосування МОР.

Наприклад, при обробці вуглецевих конструкційних якісних сталей твердосплавним різцем Т30К6 зі швидкістю різання 140 м/хв і подачею 0,06 мм/об відносне спрацювання складає u_0≈6,5 мкм/км.

4.8 Інші елементарні похибки обробки

Похибка від геометричної неточності верстата ($\Delta_в$) виникає внаслідок неточності розташування і переміщення виконавчих поверхонь верстата (непаралельність осей шпинделів і напрямних (рис.4.38), радіальне (рис.4.39) і осьове (торцьове) биття шпинделів, непрямолінійність напрямних і т.п.).

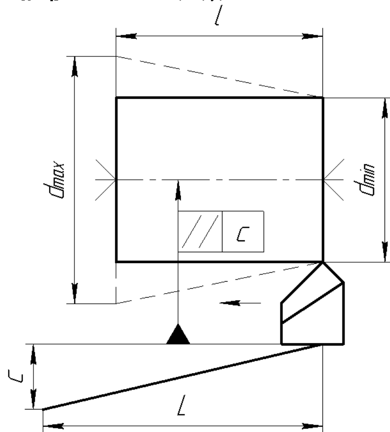


Рисунок 4.38 – Похибка, спричинена непаралельністю осі шпинделя і напрямних верстата

Похибка, спричинена непаралельністю осі шпинделя і напрямних верстата (рис.4.38):

$$\Delta = d_{\max} - d_{\min} = 2\frac{c}{L}l,$$

де c=0.02 мм – допуск паралельності осі шпинделя по відношенню до напрямку руху каретки (для токарних верстатів нормальної точності), L=300 мм – довжина нормування, l – довжина обробки.

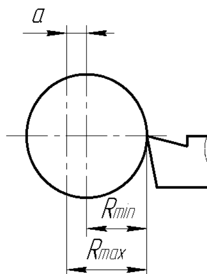


Рисунок 4.39 – Похибка, спричинена радіальним биттям шпинделя

Похибка, спричинена радіальним биттям шпинделя (рис.4.39):

$$\Delta = d_{\max} - d_{\min} = 2a,$$

де a – радіальне биття шпинделя.

Похибка від кінематичної неточності верстата виникає внаслідок неточності кінематичного ланцюга верстата і проявляється при необхідності забезпечення строгого зв’язку в рухах верстата (наприклад, при нарізанні різьби різцем (рис.4.40), нарізанні зубів коліс і т.п.).

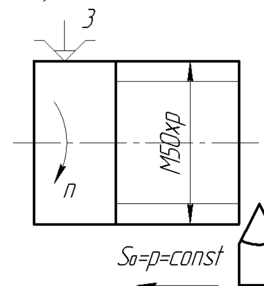


Рисунок 4.40 – Вплив неточності кінематичного ланцюга токарного верстата на точність різьби

Похибка від неточності виготовлення і заточування різального інструмента проявляється при обробці мірним різальним інструментом (свердла, розвертки, мітчики, фасонні різці, протяжки) внаслідок переносу розміру інструмента на деталь. Окремо слід виділяти похибку від розмірного спрацювання інструмента.

Похибки від залишкових напружень заготовки виникають внаслідок деформації заготовки при порушенні рівноваги внутрішніх напружень в результаті її механічної обробки. Найчастіше залишкові напруження виникають внаслідок нерівномірного нагрівання і охолодження заготовки та її пластичних деформацій. Для зменшення залишкових напружень заготовки піддають природному або штучному старінню.

4.9 Розрахунково-аналітичний метод визначення точності обробки

Сумарна похибка обробки включає основні випадкові і систематичні елементарні похибки обробки. Сумарну похибку визначають:

1 Статистичним методом.
2 Розрахунково-аналітичним методом.

Розрахунково-аналітичний метод визначення точності обробки полягає у визначенні елементарних похибок обробки і їх сумування за певними правилами. Для визначення технологічної стійкості інструмента, кількості оброблених деталей без підналагодження, налагоджувального розміру будують теоретичну діаграму точності обробки.

Похибка обробки може складатись з похибок розміру $\Delta_{розм.}$ та форми $\Delta_{форми}$:

$$\Delta_{обр} = \Delta_{розм.} + \Delta_{форми}.$$

Виділяють два основні випадки.

1 Точність досягається методом автоматичного отримання розміру.

Для обробки коротких поверхонь з малим основним часом похибкою форми деталі (до якої призводять систематичні закономірно змінні похибки) можна знехтувати, і враховують тільки похибку розміру, яка призводить до розсіювання розмірів деталей у партії:

$$\Delta_{обр} = \Delta_{розм.} = \Delta_{мр} + \Delta_{сист.зак.},$$

де $\Delta_{мр}$ – похибка миттєвого розсіювання розмірів, яка не залежить від часу обробки:

$$\Delta_{мр} = 1{,}2\sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_н^2 + \Delta_y^2} + \Delta_в \text{ або } \Delta_{мр} = 1{,}2\sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_н^2 + \omega_м^2},$$

де $\omega_м$ – розсіювання розмірів, пов’язане з видом обробки, яке залежить від виду обробки, конструкції, типорозміру, стану верстата, стану інструмента, нерівномірності припуску і твердості матеріалу заготовки.

$\Delta_{сист.зак.}$ – сумарна систематична змінна похибка, яка залежить від часу обробки та призводить до закономірного збільшення або зменшення розмірів деталей протягом часу обробки партії, $\Delta_{сист.зак.} = \Delta_i + \Delta_m$.

$$\boxed{\Delta_{обр} = 1{,}2\sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_н^2 + \Delta_y^2} + \Delta_в + \Delta_i + \Delta_m \le T}. \qquad (4.17)$$

2 Точність досягається індивідуальним методом (пробних ходів і вимірювань) і обробляються короткі поверхні з малим основним часом:

$$\boxed{\Delta_{обр} = 1{,}2\sqrt{\Delta_{вим}^2 + \Delta_{рег}^2} + \Delta_в \le T}. \qquad (4.18)$$

Теоретична діаграма точності оброблюваних деталей –

графічна залежність між основним часом обробки партії і теоретичними розмірами деталей партії (рис.4.41) [15].

Послідовність побудови діаграми точності для токарної обробки вала:

1 Розраховують похибку миттєвого розсіювання розмірів $\Delta_{мр}$.

2 Розраховують систематичну закономірно змінну похибку $\Delta_{сист.зак.}$

3 Наносять координатні осі (вісь абсцис - час обробки, вісь ординат - похибка (розмір)).

4 З нульової точки (т.0) наносять на діаграму криву, яка описує залежність $\Delta_{сист.зак.}$ від часу обробки.

5 На відстані $\Delta_{мр}/2$ вверх і вниз від кривої проводять аналогічні еквідистантні криві.

6 Проводять нижню границю поля допуску розміру деталі на відстані $\Delta_{мр}/2 + \Delta_{сист.зак.}^{\min}$ вниз від т.0.

7 Проводять верхню границю поля допуску розміру деталі.

8 Визначають технологічну стійкість інструмента T_m та кількість оброблених деталей без підналагодження або заміни інструмента.

9 Визначають налагоджувальний розмір:

$$d_н = d_{\min} + \frac{\Delta_{мн}}{2} + \Delta_{сист.зак.}^{\min} \text{ (якщо } T_m < T_e\text{)},$$

$$d_н = d_{\min} + \frac{\Delta_{мн}}{2} + \Delta_{сист.зак.}^{\min} + \frac{\Delta_{зап}}{2} \text{ (якщо } T_m \ge T_e\text{)},$$

де $\Delta_{зап}$ - величина запасу точності:

$$\Delta_{зап} = T - \Delta_{мр} - \Delta_{сист.зак.}^{t=T_e}$$

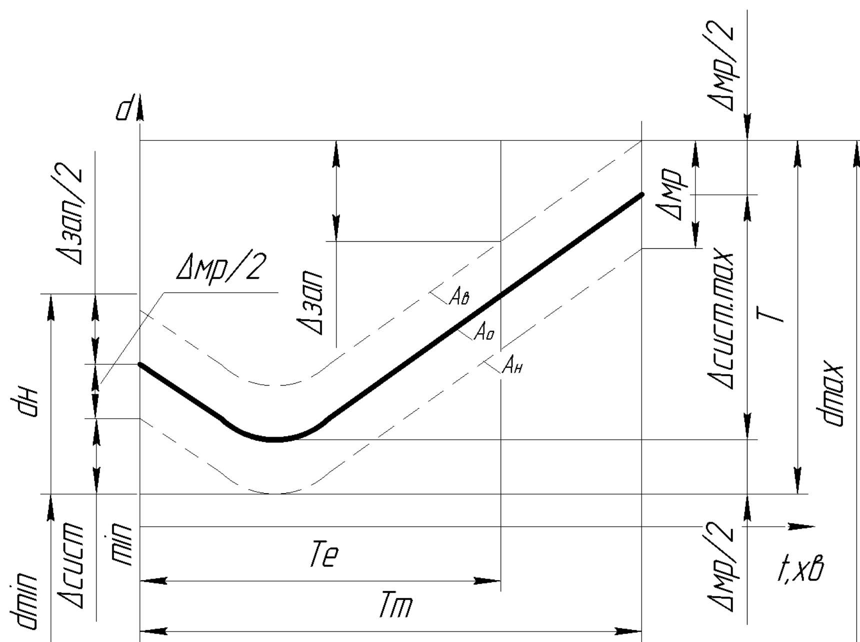


Рисунок 4.41 – Вигляд теоретичної діаграми точності механічної обробки зовнішньої поверхні

4.10 Керування точністю обробки

Керування точністю обробки – комплекс заходів, пов'язаних із збереженням заданої точності обробки, яка може бути змінена внаслідок дії випадкових і систематичних чинників. Керувати точністю обробки можна шляхом:

1 Зменшення похибок обробки.

2 Підналагодження верстата.

3 Застосування методів адаптивного керування точністю обробки.

Підналагодження верстата – процес відновлення початкового розташування інструмента і оброблюваної заготовки, яке порушується в процесі обробки партії заготовок. Порушення точності може бути викликано систематичними змінними похибками обробки (наприклад, від розмірного спрацювання інструмента). Підналагодження верстата може відбуватись вручну або за допомогою *автопідналагоджувачів*.

Автопідналагоджувачі – пристрої для підналагодження верстата без його зупинки, в яких момент підналагодження визначається шляхом контролю основного часу обробки або регулярного вимірювання розмірів оброблених заготовок (рис.4.42).

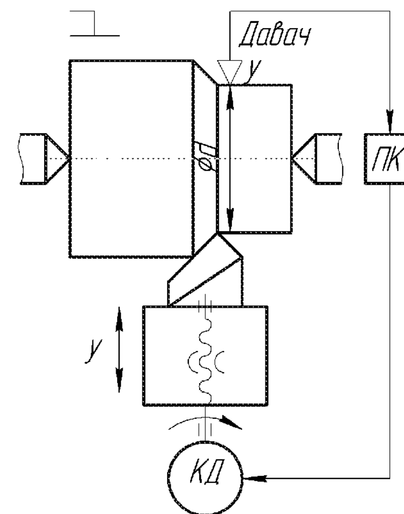


Рисунок 4.42 – Автопідналагоджувач:
ПК – пристрій керування, КД – кроковий двигун, *y* - величина підналагодження

Методи адаптивного керування точністю обробки основані на принципі зменшення діапазону розсіювання величини пружних відтискань (*y*) в технологічній системі (які викликаються, наприклад, нерівномірністю припуску (*t*) і твердості матеріалу заготовки (*HB*)):

$$y = \frac{P_y}{j} = \frac{C \cdot s^{0.75} \cdot t \cdot HB^2}{j} = const. \qquad (4.19)$$

З формули видно, що забезпечити постійність величини *y* можна шляхом:

1 Керування подачею (*s*). Керування точністю обробки шляхом керування подачею (рис.4.43) полягає у збільшенні подачі при меншій глибині різання (або більшій жорсткості системи) і її зменшенні при більшій глибині різання (або меншій жорсткості системи (рис.4.44)), що призводить до рівномірності сили різання.

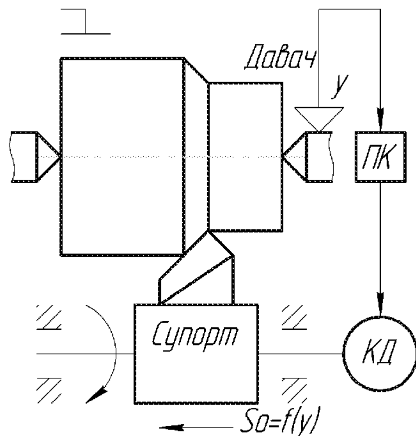


Рисунок 4.43 – Адаптивне керування точністю обробки шляхом зміни подачі: ПК – пристрій керування, КД – кроковий двигун

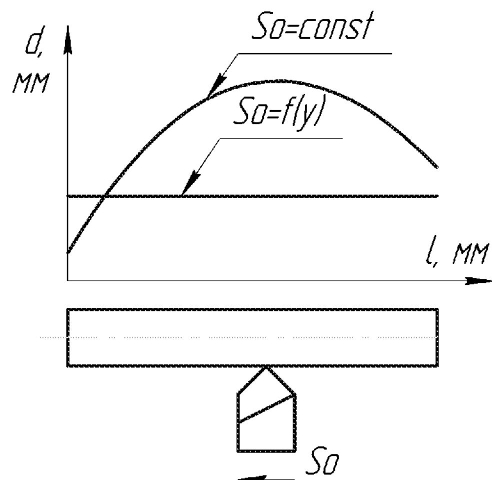


Рисунок 4.44 – Зменшення відхилень діаметра валика обробленого в центрах внаслідок зменшення подачі при точінні середньої (найменш жорсткої) частини

2 Керування умовами різання, геометрією різання (*C*). Наприклад, при точінні керувати силою різання можна змінюючи головний кут у плані *φ* (рис.4.45). При його збільшенні сила P_y зменшується, а при зменшенні – збільшується.

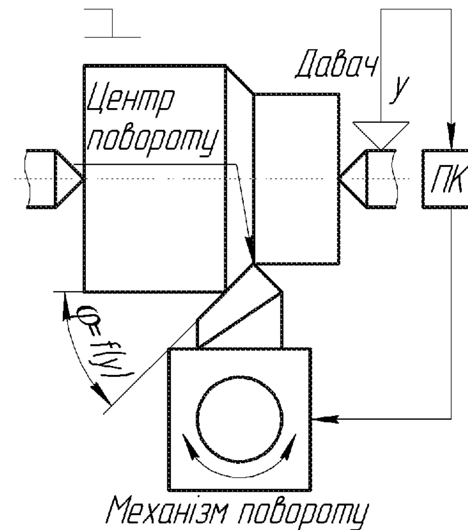


Рисунок 4.45 – Адаптивне керування точністю обробки шляхом зміни геометрії різання: ПК – пристрій керування

3 Керування жорсткістю системи (*j*). Для цього застосовують спеціальні пристрої, які адаптивно змінюють жорсткість системи (рис.4.46).

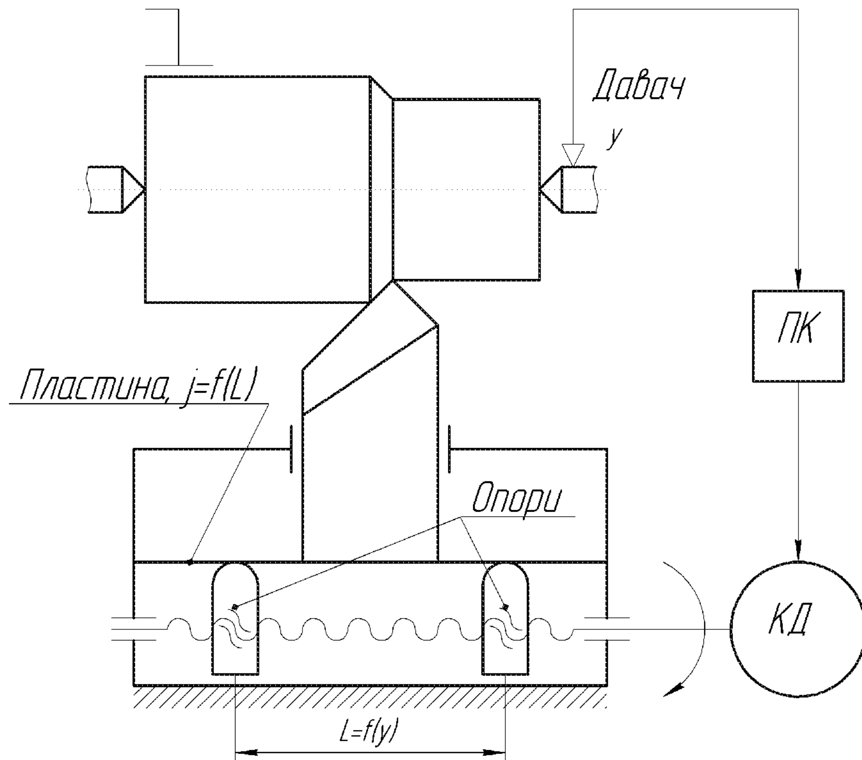


Рисунок 4.46 – Адаптивне керування точністю обробки шляхом зміни жорсткості системи ВПІД: ПК – пристрій керування, КД – кроковий двигун

Контрольні запитання

1 Перечисліть випадкові, систематичні постійні і систематичні змінні елементарні похибки обробки.
2 З якою метою застосовується теорія базування в машинобудуванні?
3 Класифікуйте бази за призначенням, за кількістю зв'язків і за характером проявлення.
4 Розкажіть загальне правило визначення похибки базування. Як її уникнути?
5 Перечисліть основні правила вибору чорнових і чистових технологічних баз.

6 Як розраховується похибка установки? Які шляхи її зменшення?
7 Опишіть методи налагодження для автоматичного отримання розміру. Як розраховується похибка розмірного налагодження?
8 Дайте визначення жорсткості технологічної системи. Які існують методи її визначення?
9 Як розраховується динамічна похибка обробки для умов токарної обробки? Які шляхи її зменшення?
10 Якою емпіричною залежністю описується похибка від температурної деформації різця? Які шляхи її зменшення?
11 Якою емпіричною залежністю описується похибка від розмірного спрацювання різця? Які шляхи її зменшення?
12 Дайте визначення похибкам: від геометричної неточності верстата, від кінематичної неточності верстата, від неточності виготовлення і заточування різального інструмента, від залишкових напружень заготовки.
13 Опишіть послідовність побудови теоретичної діаграми точності.
14 Перечисліть основні методи адаптивного керування точністю обробки.

5 КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ

Література: [1],[2],[4],[10],[12],[22],[24],[29],[31],[33],[36],[37]

5.1 Параметри шорсткості поверхонь виробів. Вплив шорсткості на експлуатаційні властивості деталі

Якість поверхні – це сукупність характеристик шорсткості і хвилястості, фізико-механічних, хімічних властивостей і мікроструктури поверхневого шару. Якість поверхні формується внаслідок дії технологічних чинників. Часто якість поверхні деталі може мати значний вплив на експлуатаційні характеристики деталі, особливо у рухомих і нерухомих з'єднаннях.

Шорсткість поверхні – це сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками. Шорсткість поверхні характеризується параметрами шорсткості (ГОСТ 2789-94): R_a (400...0,008 мкм), R_z (1600...0,025 мкм), R_{max}, S_m (12,5...0,002 мм), S, η_p, t_p (10...90%) (рис.5.1).

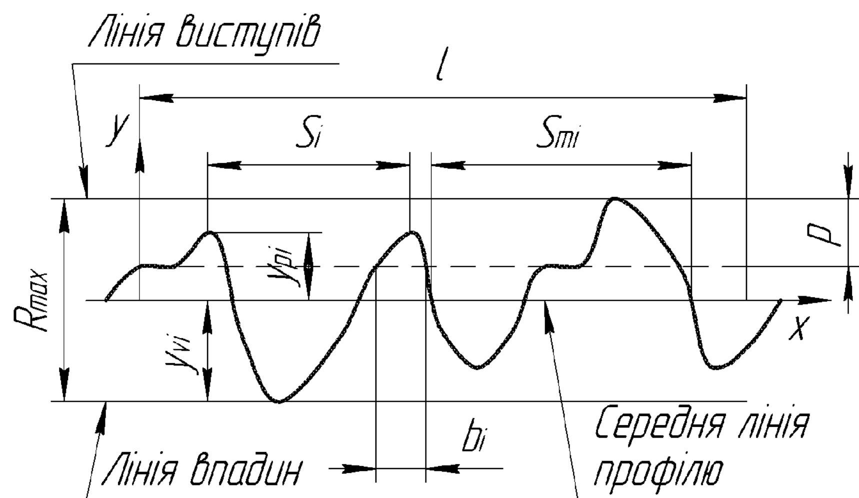


Рисунок 5.1 – Характеристики профілю шорсткості

Величина шорсткості вибирається конструктором часто в залежності від точності і розмірів сполучених деталей (табл.5.1).

Таблиця 5.1 - Залежність шорсткості від розмірів і точності сполучених деталей (T - допуск)

Діаметр сполучених деталей	<18 мм	18...50 мм	>50 мм
Шорсткість Rz	(0,2...0,25)T	(0,15...0,2)T	(0,1...0,15)T

Середнє арифметичне відхилення профілю (R_a):

$$R_a = \frac{1}{l}\int_0^l |y(x)|dx \approx \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i|,$$

де l – базова довжина, y - відхилення профілю від базової лінії, n - кількість вибраних точок на базовій довжині.

Висота нерівностей профілю за десятьма точками (R_z):

$$R_z = \frac{1}{5}\left(\sum_{i=1}^{5}|y_{pi}| + \sum_{i=1}^{5}|y_{vi}|\right),$$

де y_{pi} – висота i-го найбільшого виступу профілю, y_{vi} - глибина i-ї найбільшої западини профілю.

Найбільша висота нерівностей профілю (R_{max}) – це відстань між дотичною до виступів профілю і дотичною до впадин в межах базової довжини.

Середній крок нерівностей профілю (S_m) – середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини.

Середній крок місцевих виступів профілю (S) – це середнє значення кроків виступів профілю в межах базової довжини.

Опорна довжина профілю (η_p) – сума довжин відрізків b_i, які відтинаються на заданому рівні в матеріалі профілю лінією, еквідістантною середній лінії в межах базової довжини.

Відносна опорна довжина профілю (t_p) – відношення опорної довжини профілю до базової довжини.

Хвилястість поверхні – сукупність виступів і впадин поверхні, які періодично повторюються і взаємна відстань між якими значно більша нерівностей, які утворюють шорсткість.

Вплив шорсткості на експлуатаційні властивості деталі. Шорсткість може суттєво впливати на такі експлуатаційні властивості деталі:

1 *Тертя і спрацювання*. Зменшення шорсткості до певної межі зменшує інтенсивність спрацювання. Дуже мала шорсткість поверхні може призвести до підвищення інтенсивності спрацювання внаслідок схоплювання матеріалів і відсутності мастильного прошарку (рис.5.2).

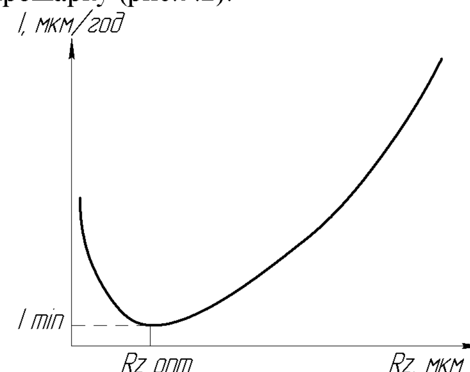


Рисунок 5.2 – Вплив шорсткості на інтенсивність спрацювання поверхонь

2 *Характер посадок*. При розрахунку посадок з натягом слід враховувати величину зминання мікронерівностей поверхні.

3 *Втомну міцність*. Зменшення шорсткості зменшує концентрацію напружень в поверхневому шарі і ймовірність появи втомних тріщин (рис.5.3).

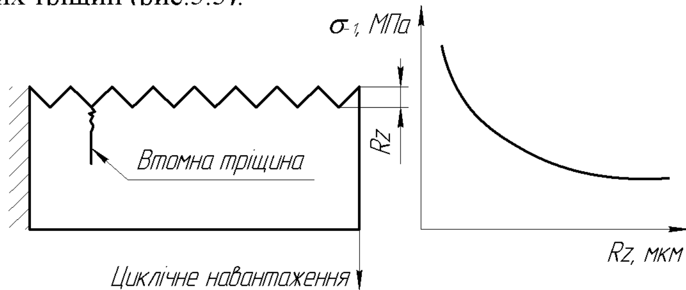


Рисунок 5.3 – Вплив шорсткості на границю витривалості

4 *Корозійну стійкість*. Зменшення шорсткості часто призводить до підвищення корозійної стійкості.

5 Інші властивості: *герметичність з'єднань*, *обтічність*, *теплопровідність* і т.д.

5.2 Причини виникнення шорсткості

Причини виникнення шорсткості при механічній обробці різанням поділяють на три групи:

1 *Геометричні причини*. Пояснюються копіюванням геометрії і нерівностей інструмента на деталь (рис.5.4). В цьому випадку шорсткість залежить від:

1.1 Подачі *S*. Її зменшення призводить до зменшення шорсткості (рис. 5.4а,б).

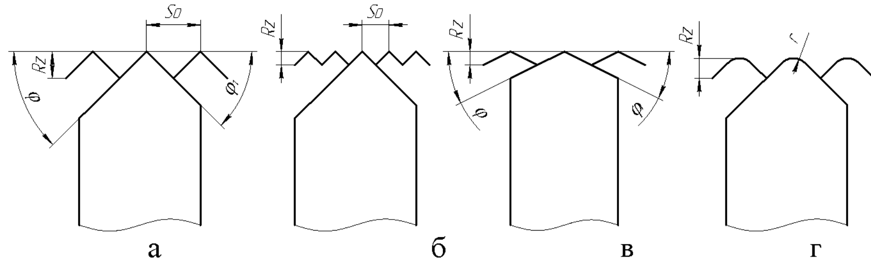


Рисунок 5.4 – Залежність шорсткості обробленої поверхні *Rz* при точінні (а) від: подачі *So* (б), кутів у плані різця φ, φ_1 (в), радіуса при вершині різця *r* (г)

1.2 Радіуса вершини різця *r*. Його збільшення призводить до зменшення шорсткості (рис. 5.4г):

$$R_z = \frac{S^2}{8r}.$$

1.3 Кутів у плані φ, φ_1. Їх зменшення призводить до зменшення шорсткості (рис. 5.4в).

1.4 Спрацювання інструмента. Спрацювання інструмента часто підвищує шорсткість.

1.5 Шорсткість інструмента. Доводка при заточуванні інструмента зменшує шорсткість обробленої поверхні.

2 *Причини, пов'язані з пластичними і пружними деформаціями поверхневого шару*. В цьому випадку шорсткість залежить від:

2.1 Швидкості різання *V*. При малих швидкостях різання вуглецевих сталей шорсткість мала. При збільшенні її до 40 м/хв підвищується температура, пластичність матеріалу і утворюється наріст, що призводить до збільшення шорсткості (рис.5.5). При високих швидкостях різання температура значно збільшується і наріст розміцнюється, тому зменшується шорсткість. Обробка крихких матеріалів з малими швидкостями різання призводить до відколювання частинок матеріалу і підвищення шорсткості.

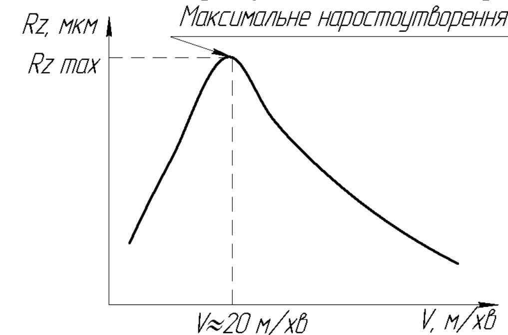


Рисунок 5.5 – Вплив швидкості різання і наростоутворення на величину шорсткості при точінні сталі

2.2 Подачі *S*. При тонкому точінні різцем з великим радіусом при вершині і подачами *S*<0,06 мм/об шорсткість може збільшитись, що пояснюється пружно-пластичними деформаціями шару матеріалу, який не може бути зрізаний, а підминається різцем (рис.5.6).

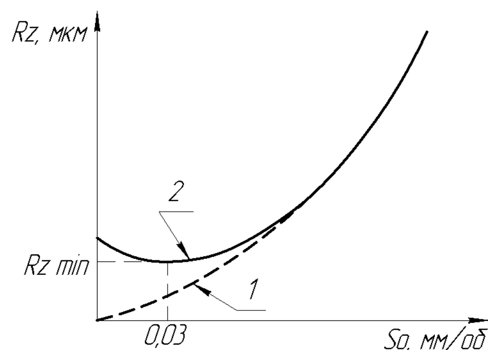


Рисунок 5.6 – Залежність шорсткості від подачі: 1 – теоретична залежність; 2 – експериментальна залежність

2.3 Оброблюваного матеріалу і його структури. Шорсткість при обробці в'язких і пластичних матеріалів як правило вища за шорсткість при обробці твердіших матеріалів. Швидкість різання не має суттєвого впливу на шорсткість деталей твердістю 500НВ і більше.

2.4 Мастильно-охолоджувальної рідини. Застосування МОР зменшує тертя, схоплювання, полегшує стружкоутворення і зменшує шорсткість.

3 *Вібрації технологічної системи*. Вібрації технологічної системи з високими амплітудами призводять до періодичної зміни положення інструмента відносно поверхні заготовки і як наслідок – шорсткості. Вони можуть виникнути внаслідок:

3.1 Дисбалансу рухомих частин верстата, нерівномірності передач.

3.2 Зовнішніх вібрацій.

3.3 Періодичного коливання сили різання, наприклад, внаслідок нерівномірності припуску.

3.4 Співпадання власних частот системи з частотами вимушених коливань (резонанс). Для підвищення власних частот системи і уникнення резонансу слід підвищувати жорсткість технологічної системи.

Власні (вільні) коливання технологічної системи можуть викликатись під дією початкової причини. Вільні коливання реальної системи є затухаючими коливаннями внаслідок втрати енергії. Форма і частота (ω_0) власних коливань залежить від маси (m) і жорсткості (j) системи.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{j}{m}}\ .$$

Вимушені коливання виникають під дією періодичної зовнішньої дії. При рівності частот власних і вимушених коливань виникає резонанс (суттєво підвищується амплітуда).

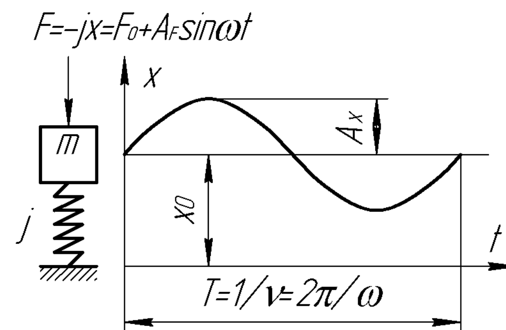


Рисунок 5.7 - Вимушені гармонійні коливання динамічної моделі

Гармонічні коливання моделі технологічної системи (рис.5.7) описуються диференційним рівнянням:

$$\frac{m\partial^2 x}{\partial t^2} + jx = F\ ,$$

де $F = F_0 + A_F \sin \omega t$ - зовнішня гармонічна сила (сила різання), F_0 - статична складова сили, A_F - амплітуда сили, m - приведена маса, j - жорсткість.

Розв'язок диференційного рівняння має вигляд:

$$x = x_0 + A_x \sin \omega t = \frac{F_0}{j} + \frac{A_F}{(\omega_0^2 - \omega^2)m} \sin \omega t\ ,$$

де ω_0 - власна частота системи, $A_x = \frac{A_F}{(\omega_0^2 - \omega^2)m}$ - амплітуда переміщення.

Видно, що якщо $\omega_0 \to \omega$ (власна частота системи наближається до частоти вимушених коливань), то суттєво зростає амплітуда переміщення. Це явище називається резонансом. Проте суттєве підвищення амплітуди відбувається не відразу, а через певний проміжок часу, тому нетривала обробка в резонансному режимі не призводить до виникнення похибок обробки.

Автоколивання – незатухаючі коливання, які можуть існувати в реальній системі при відсутності періодичних зовнішніх дій за рахунок наявності в системі активного елементу, який поповнює втрати енергії. Причиною автоколивань технологічної системи є сам процес різання.

Частота автоколивань збільшується зі збільшенням ширини зрізу (B) і жорсткості системи (j) і зменшується зі збільшенням маси (m) і подачі (s) та залежить від геометрії інструмента і властивостей оброблюваного матеріалу (Cp_y)

$$\omega = \sqrt{\frac{j+r}{m}},$$

де $r = 0{,}75 Cp_y \dfrac{B}{s^{0{,}25}}$.

Амплітуда автоколивань зменшується зі збільшенням швидкості різання, подачі, кутів у плані, частоти і жорсткості та збільшується при збільшенні глибини різання, радіуса скруглення вершини різця і ширини зрізу.

5.3 Керування фізико-хімічним станом поверхневого шару виробів

Для **підвищення якості поверхневого шару** виробів використовують такі методи:

1 Методи поверхневої термічної обробки (наприклад гартування СВЧ).

2 Хіміко-термічні методи (цементація, азотування, ціанування, дифузійна металізація та ін.).

3 Поверхнево-пластичне деформування.

4 Нанесення на поверхню покриттів (металевих і неметалевих) різними методами.

5 Викінчувальна абразивна обробка (доведення, притирання, суперфініш, полірування та ін.)

Значний влив на експлуатаційні характеристики деталі може мати її поверхневий напружений стан, який часто формується при механічній обробці.

Залишкові напруження в поверхневому шарі – напруження, які існують в поверхневому шарі після усунення чинників (силових чи температурних), які їх викликали. Залишкові напруження характеризують за величиною і характером розподілу. Можуть утворюватись залишкові напруження стиску або розтягу. Основні причини виникнення залишкових напружень в

поверхневому шарі: пластична деформація поверхні при дії сил різання, тертя задньої поверхні інструмента, висока температура в зоні різання, фазові перетворення матеріалу заготовки, особливості матеріалу заготовки. Зняти залишкові напруження в заготовці можна шляхом природного, штучного або вібраційного старіння.

Деформаційне зміцнення (наклеп) поверхневого шару – атермічний процес (без дії температури) пластичної деформації поверхневого шару, який оцінюють за глибиною $h_н$, степенем наклепу $u_н$ і інтенсивністю наклепу $u_{гр}$ (градієнт наклепу). Наклеп залежить від режимів різання та умов обробки.

$$u_н = \frac{H_{\max} - H_{вих}}{H_{вих}} 100\%,$$

$$u_{гр} = \frac{H_{\max} - H_{вих}}{h_н} 100\%,$$

де – H_{max}, $H_{вих}$ - максимальна і початкова мікротвердість поверхневого шару.

Вплив деформаційного зміцнення (наклепу) на експлуатаційні властивості виробу. Наклеп дає змогу підвищити:

1 Зносостійкість деталей (рис.5.8).

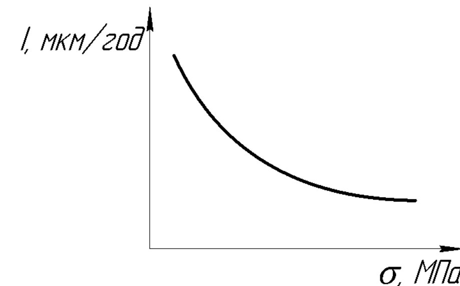


Рисунок 5.8 – Залежність інтенсивності спрацювання поверхні від величини залишкових напружень стиску в поверхневому шарі

2 Границю втомної міцності (рис.5.9).

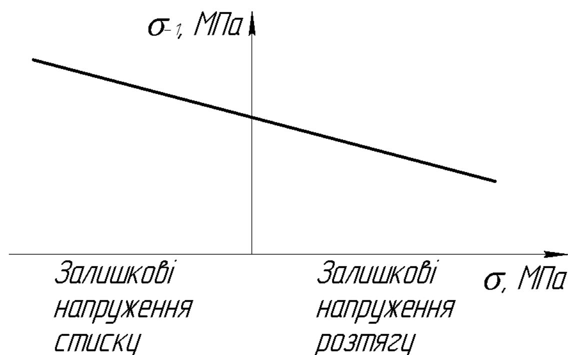


Рисунок 5.9 – Залежність границі втомної міцності σ_{-1} від величини і знаку залишкових напружень в поверхневому шарі

Але наклеп має, переважно, негативний вплив на:

1 Корозійну стійкість деталей.

2 Експлуатаційні якості деталей при високих робочих температурах (більших 700-800 °С) (рис.5.10).

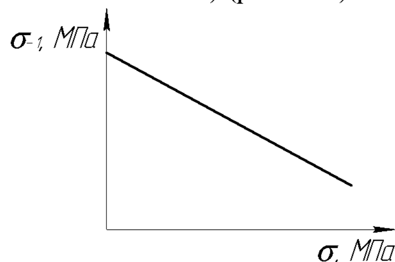


Рисунок 5.10 - Залежність границі втомної міцності від величини залишкових напружень стиску в поверхневому шарі при високих температурах

Технологічна спадковість – перенесення на готовий виріб в процесі його обробки похибок, механічних, фізико-хімічних властивостей заготовки.

Контрольні запитання

1 Дайте визначення основним параметрам шорсткості поверхонь.
2 Як впливає шорсткість на експлуатаційні властивості деталі?
3 Перечисліть основні причини виникнення шорсткості.
4 Напишіть диференційне рівняння, яке описує коливання моделі технологічної системи і його розв'язок. Дайте визначення власній частоті системи і резонансу.
5 Перечисліть основні методи підвищення якості поверхневого шару виробів.

6 ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКІВ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ

Література: [1],[2],[4],[10],[12],[19],[22],[28],[34],[37]

Загальний припуск на обробку – шар матеріалу, який знімається з поверхні заготовки з метою усунення поверхневих дефектів і досягнення потрібної якості і точності поверхні готової деталі [13]. Визначення оптимальної величини припуску є важливою задачею, оскільки замалий припуск призводить до недосягнення потрібної точності деталі, а завеликий - до більших витрат матеріалу і трудомісткості обробки. Припуски визначаються *досвідно-статистичним* (за нормативами) або *розрахунково-аналітичним методом*.

Операційний припуск – шар матеріалу, який знімається з поверхні заготовки при виконанні однієї технологічної операції [13]. Операційний припуск складається з припусків на окремі технологічні переходи (**проміжних припусків** [13]).

Мінімальний припуск є розрахунковим. Розглянемо розрахунково-аналітичний метод визначення мінімального припуску (рис.6.1). Для поверхонь обертання:

$$\boxed{2Z\min_i = 2(R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta^2_{\Sigma(i-1)} + \varepsilon_i^2})}, \qquad (6.1)$$

де $R_{z(i-1)}$ – шорсткість заготовки після попереднього переходу (рис.); h_{i-1} – глибина поверхневого дефектного шару заготовки після попереднього переходу; $\Delta_{\Sigma(i-1)}$ – сумарні просторові відхилення заготовки після попереднього переходу (кривизна і короблення заготовки, ексцентричність отвору відносно зовнішньої поверхні, відхилення від паралельності, перпендикулярності осей, площин і т.п.). Для циліндричної поверхні:

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta^2_{кр} + \Delta^2_{зм}} \, ,$$

де $\Delta_{кр}$ – просторове викривлення поверхні, $\Delta_{зм}$ – зміщення поверхні відносно базової.

Сумарні просторові відхилення на даному переході визначаються так:

$$\Delta_{\Sigma i} = K_y \cdot \Delta_{i-1},$$

де K_y – коефіцієнт уточнення.

ε_i – похибка установки на даному переході.

Для зовнішніх поверхонь:

$$2Z\min_i = d\min_{i-1} - d\min_i \text{ (рис.6.2а).}$$

Для внутрішніх поверхонь:

$$2Z\min_i = D\max_i - D\max_{i-1} \text{ (рис.6.2б).}$$

Для плоских поверхонь:

$$\boxed{Z\min_i = R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \left|\Delta_{\Sigma(i-1)} + \varepsilon_i\right|}. \qquad (6.2)$$

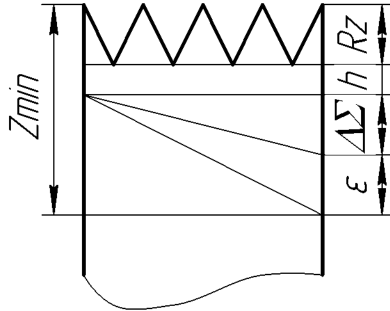


Рисунок 6.1 – Складові припуску на механічну обробку

Максимальний припуск:

Для зовнішніх поверхонь:

$$2Z\max_i = d\max_{i-1} - d\max_i \text{ (рис.6.2а).}$$

Для внутрішніх поверхонь:

$$2Z\max_i = D\min_i - D\min_{i-1} \text{ (рис.6.2б).}$$

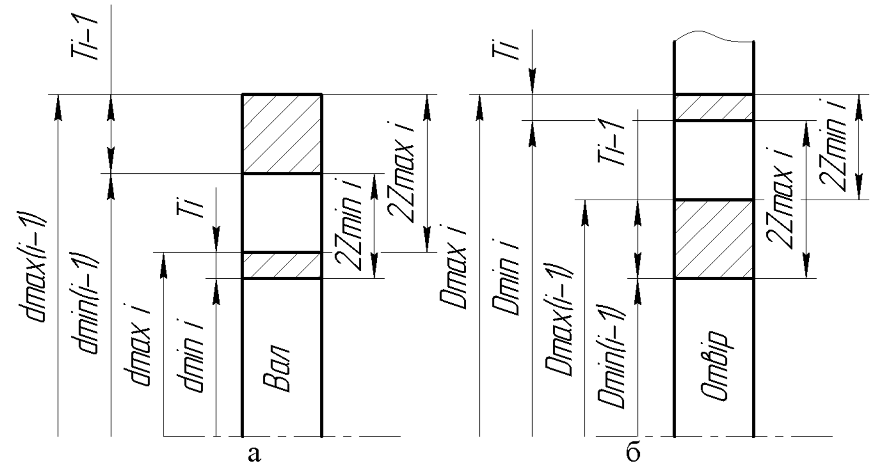


Рисунок 6.2 – Схема розміщення припусків на механічну обробку вала (а) і отвору (б) на попередньо налагоджених верстатах

При обробці на налагоджених верстатах мінімальний припуск визначається як різниця мінімальних розмірів заготовки і деталі, а максимальний - як різниця максимальних розмірів заготовки і деталі (рис.6.3). Тут $A_н$ - налагоджувальний розмір, y_{min} - мінімальне пружне відтискання інструмента (при обробці мінімальної заготовки призведе до утворення мінімальної деталі), y_{max} - максимальне пружне відтискання інструмента (при обробці максимальної заготовки призведе до утворення максимальної деталі).

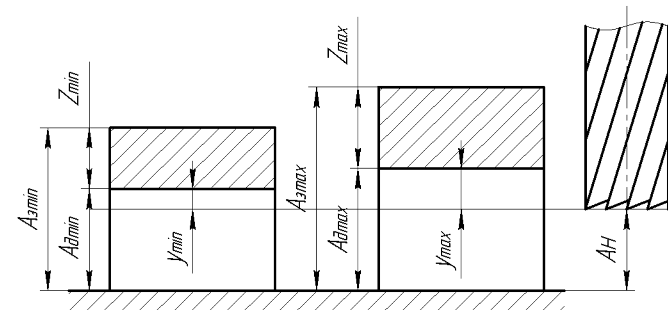


Рисунок 6.3 - Визначення максимального і мінімального припусків при обробці на налагодженому фрезерному верстаті

Контрольні запитання

1 Чому величина припуску повинна бути оптимальною? Які існують методи визначення припусків?
2 Як розраховується мінімальний припуск для поверхонь обертання і плоских поверхонь розрахунково-аналітичним методом?
3 Як визначається максимальний припуск для вала, отвору і плоскої поверхні при обробці на налагоджених верстатах? Чому саме так?

7 КЕРУВАННЯ СОБІВАРТІСТЮ І ПРОДУКТИВНІСТЮ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ

Література:
[1],[3],[4],[5],[6],[8],[11],[12],[13],[18],[19],[28],[32],[37]

Важливими проблемами машинобудівного виробництва є проблема зменшення витрат на виробництво та проблема підвищення продуктивності праці.

Економічна ефективність технологічного процесу оцінюється за такими критеріями:

1 Технологічна собівартість.
2 Зведені витрати.
3 Продуктивність, яка виражається штучно-калькуляційним часом.

7.1 Керування собівартістю

Технологічна собівартість (*С*) – це частина грошових виробничих витрат на здійснення технологічного процесу виготовлення одиниці продукції, таких як витрати на основні матеріали, заробітну плату, експлуатацію та ремонт обладнання. Розраховується бухгалтерським методом або елементним методом.

Бухгалтерський метод калькуляції:

$$C = \sum_{i=1}^{p} M_i + \sum_{i=1}^{m}\left(1+\frac{\alpha_1+\alpha_2}{100}\right)З_i. \quad (7.1)$$

Елементний метод калькуляції:

$$C = \sum_{i=1}^{p} M_i + \sum_{i=1}^{m}\left(1+\frac{\alpha_1+\alpha_3}{100}+O+П+I\right)З_i, \quad (7.2)$$

де M_i – витрати на основні матеріали:

$$M_i = G_{заг}q_{заг} - G_{відх}q_{відх},$$

де $G_{заг}$ - маса загововки, $q_{заг}$ – вартість матеріалу заготовки, $G_{відх}$ – маса відходів, $q_{відх}$ – вартість відходів.

$З_i$ – витрати на заробітну плату:

$$З_i = (sz_в / f_{вв} + sz_н / f_{вн})\frac{T_{шт.к}}{60},$$

де s – годинна ставка першого розряду; $z_в$, $z_н$ - розрядні коефіцієнти верстатника і настроювача; $f_{вв}$, $f_{вн}$ – кількість верстатів, які обслуговуються верстатником і настроювачем; $T_{шт.к}$ – штучно-калькуляційний час.

α_1 – процент відрахувань на соціальне страхування.
α_2 – процент накладних витрат.
α_3 –процент накладних витрат, які не охоплюють *О, П, І*.
p – кількість матеріалів у виробі.
m – кількість операцій ТП.
О, П, І –витрати на ремонт, технічне обслуговування та амортизаційні відрахування відповідно обладнання (*О*), пристроїв (*П*), інструмента (*І*).

Зведені витрати – витрати, які враховують технологічну собівартість (*С*) та капіталовкладення (*К*):

$$B_{зв} = C + E_н K, \quad (7.3)$$

де $E_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Технологічне керування собівартістю включає можливі заходи для зменшення складових технологічної собівартості:

1 Зменшення витрат на основні матеріали.
1.1 Зменшення маси заготовок і деталей.
1.2 Використання недорогих матеріалів.
1.3 Організація безвідходної технології.
2 Зменшення витрат на заробітну плату.
2.1 Спрощення роботи, її механізація і автоматизація.
2.2 Концентрація операцій.
2.3 Використання багатоверстатного обслуговування.
2.4 Підвищення продуктивності операцій.
3 Повне використання можливостей ЗТО. Збільшення обсягів виробництва (рис.7.1).

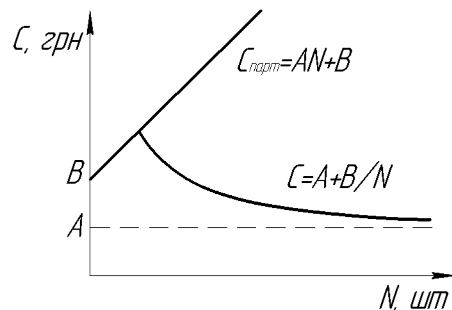


Рисунок 7.1 – Залежність собівартості обробки партії заготовок ($C_{парт}$) і однієї заготовки ($C = C_{парт}/N$) від обсягу випуску виробів N (A – витрати пов’язані з обсягом випуску виробів, B – витрати не пов’язані з обсягом випуску виробів)

4 Скорочення виробничого циклу, перехід до потокового виробництва.

5 Підвищення технологічності виробу.

Технологічність конструкції виробу – сукупність властивостей конструкції, які забезпечують виготовлення (**виробнича технологічність**), ремонт (**ремонтна технологічність**), експлуатацію і технічне обслуговування (**експлуатаційна технологічність**) виробу з оптимальними витратами для заданих показників якості, об’єму випуску і умов виконання робіт [18]. Технологічність об’єктивно оцінюється шляхом розрахунку кількісних показників технологічності, наприклад: відносна трудомісткість і технологічна собівартість виготовлення виробу, питома матеріалоємність, коефіцієнт використання матеріалу, коефіцієнт уніфікації, коефіцієнт точності обробки, коефіцієнт шорсткості.

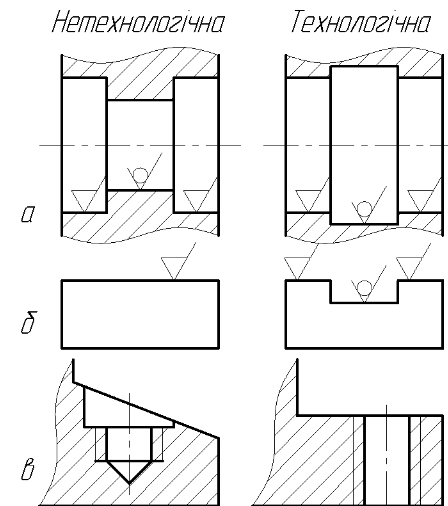


Рисунок 7.2 - Приклади нетехнологічної і технологічної конструкції виробу

Конструкція деталі володіє високою виробничою технологічністю, якщо їй, наприклад, властиві:

1 Добра оброблюваність різанням її матеріалу.
2 Добрі умови обробки різанням поверхонь (рис. 7.2в).
3 Можливість обробки з найменшої кількості установів (рис. 7.2а).
4 Можливість високопродуктивних методів обробки і режимів різання, достатня жорсткість заготовки.
5 Можливість обробки на прохід (рис. 7.2а).
6 Можливість зручного і надійного базування та закріплення.
7 Обґрунтована точність і шорсткість поверхонь.
8 Малий об’єм і можливість уникнення механічної обробки, невеликий розмір оброблюваних поверхонь (рис. 7.2б).
9 Можливість точного методу виготовлення заготовки.
10 Можливість використання стандартних і недорогих пристроїв та інструментів.
11 Можливість спрощення технічного контролю вимог до точності.
12 Можливість використання групової обробки.
13 Можливість дешевого методу виготовлення заготовки.
14 Можливість використання типового технологічного процесу.
15 Уніфіковані конструктивні елементи.
16 Висока продуктивність і низька вартість ТПВ.
17 Можливість досягнення заданого рівня точності і шорсткості.

7.2 Норми часу. Структура операції

Продуктивність технологічного процесу оцінюють кількістю роботи, виконаної за одиницю часу, або кількістю часу, затраченого на виконання роботи.

Технологічне нормування часу – встановлення технічно обґрунтованих норм робочого часу.

Норма часу – регламентований час виконання певного об'єму робіт в певних виробничих умовах одним або кількома виконавцями відповідної кваліфікації [13]. В масовому виробництві нормою часу на виконання технологічної операції є штучний час, в серійному – штучно-калькуляційний.

$$T_{шт} = T_о + T_д + T_{обсл} + T_{пер}, \quad (7.4)$$

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n}, \quad (7.5)$$

де $T_о$ – основний час – час на виконання робочого ходу [13], наприклад для зовнішнього точіння вала (рис.7.3):

$$T_o = \frac{Li}{nS_o},$$

де L– довжина робочого ходу: $L=l+l_1+l_2$; l_1, l_2 - величина врізання і перебігу інструмента; i - кількість робочих ходів; n - частота обертання шпинделя; S_o – подача; l - довжина поверхні деталі в напрямку подачі.

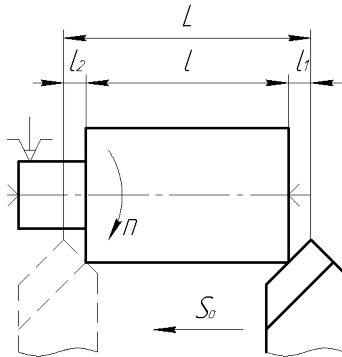


Рисунок 7.3 – Схема для визначення основного часу при точінні

$T_д$ – допоміжний час – час на виконання допоміжних ходів і переходів [13]: холості переміщення інструментів ($T_х$), установлення і зняття заготовки ($T_{у.з}$), керування верстатом ($T_к$), вимірювання ($T_{вим}$):

$$T_д = T_{вим} + T_{у.з} + T_х + T_к.$$

$T_{оп}$ – оперативний час [13]: $T_{оп} = T_о+T_д$.

$T_{обсл}$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця [13].

$T_{пер}$ –час нормованих перерв (час на особисті потреби [13]).

$T_{п.з}$ –підготовчо-заключний час – час на підготовку виконавців і засобів технологічного оснащення до виконання технологічної операції і доведення до ладу останніх після закінчення зміни і (або) операції для партії заготовок [13].

n – кількість заготовок в партії.

Цикл технологічної операції – інтервал календарного часу від початку до закінчення технологічної операції, яка періодично повторюється [13].

Структура операції – це послідовність виконання основних і допоміжних переходів на операції із зазначенням і особливістю поєднання усіх її складових елементів, яка характеризується складом оперативного часу. Продуктивність операції суттєво залежить від її структури. Розрізняють такі характеристики структури операції:

1 *Клас* – вказує на спосіб поєднання робочих ходів і виділяється за складом основного часу ($T_о$) (рис.7.4).

I клас – послідовне виконання робочих ходів: $T_o = \sum_{i=1}^{n} T_{oi}$.

II клас – послідовно-паралельне виконання робочих ходів:

$$T_o = \sum_{i=1}^{n} T_{oi\max}.$$

III клас – паралельне виконання робочих ходів: $T_o = T_{o\max}$.

Тут n – кількість ходів, які виконуються послідовно, T_{omax} – тривалість максимального ходу.

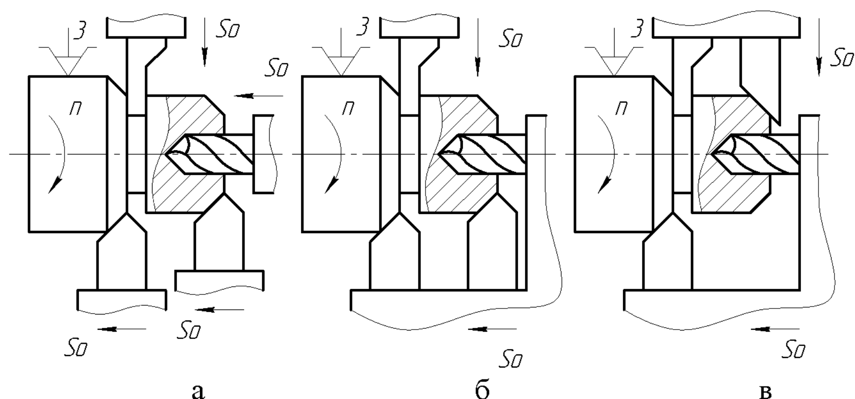


Рисунок 7.4 – Схема обробки валика на: а - токарно-гвинторізному верстаті (І клас), б - токарно-револьверному верстаті (ІІ клас), в - токарному багаторізцевому напівавтоматі (ІІІ клас)

2 *Група* – вказує на спосіб суміщення допоміжних ходів і переходів з робочими і виділяється складом допоміжного часу ($T_д$), який не перекритий основним (рис.7.5).

Група 0: $T_д = T_{вим} + T_{у.з} + T_х + T_к$.

Група 1: $T_д = T_{у.з} + T_х + T_к$.

Група 2: $T_д = T_х + T_к$.

Група 3: $T_д = 0$ (увесь допоміжний час суміщений з основним (To)).

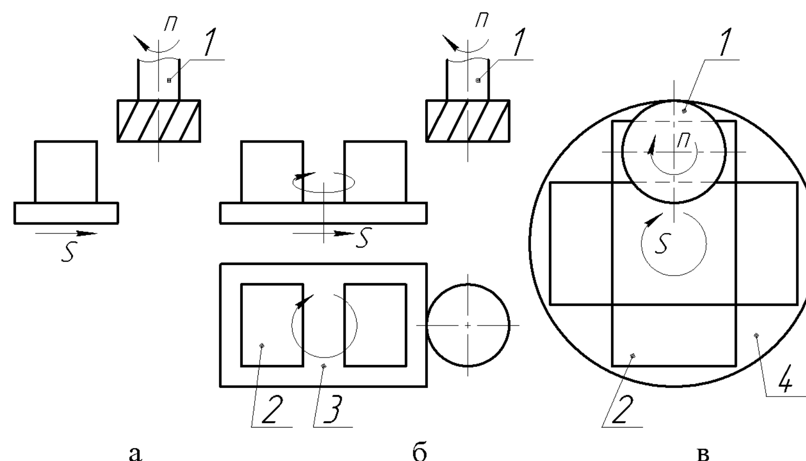


Рисунок 7.5 – Схеми обробки на налагоджених верстатах: а – операція першої групи, б – операція другої групи, в – операція третьої групи (1 – фреза, 2 – установча позиція, 3 - поворотний стіл, 4 – стіл неперервної подачі)

3 *Потік* – вказує на дублювання процесу обробки однакових поверхонь заготовок у різних установчих позиціях верстата за один цикл обробки (рис. 7.6).

Однопотоковий процес: $T_{оп}=T_ц$.

Багатопотоковий процес: $T_{оп}=T_ц/n$.

Тут $T_ц$ – цикл (тривалість обробки одної заготовки), n – кількість потоків.

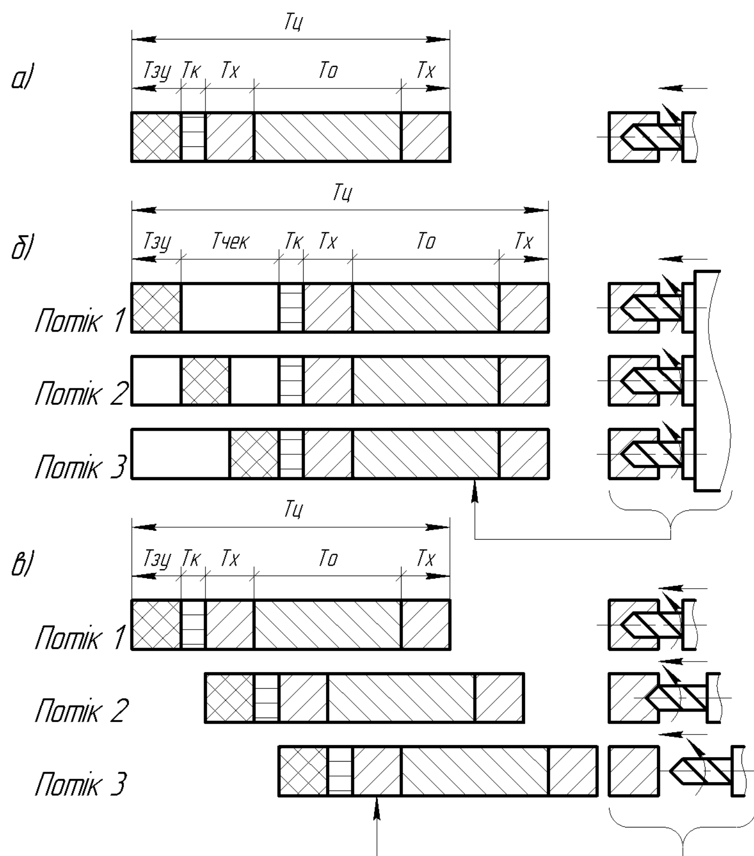


Рисунок 7.6 – Циклограми операцій: а - однопотокової, б - багатопотокової без зсуву фаз, в - багатопотокової з зсувом фаз

7.3 Керування продуктивністю

Технологічне керування продуктивністю включає можливі заходи для зменшення складових норми часу і досягнення заданої продуктивності:

1 Зменшення основного часу T_o.

1.1 Зменшення довжини робочого ходу.

1.1.1 Поділ довжини обробки L (рис.7.7).

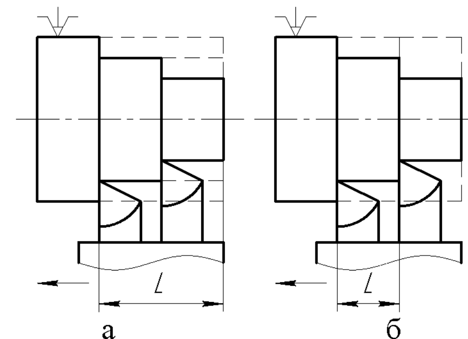


Рисунок 7.7 – Методи зменшення основного часу:
а – метод поділу припуску, б – метод поділу довжини обробки

1.1.2 Зменшення врізання (l_1) і перебігу (l_2) інструмента, багатомісна послідовна обробка в пакеті (рис.7.8).

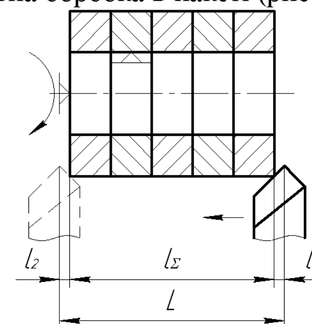


Рисунок 7.8 – Багатомісна послідовна обробка в пакеті

1.2 Зменшення кількості робочих ходів, підвищення уточнення.

1.2.1 Підвищення жорсткості системи ВПІД.

1.2.2 Підвищення точності заготовки.

1.2.3 Адаптивне керування точністю обробки.

1.3 Вибір оптимальних режимів різання та методу обробки.

1.3.1 Вибір методу обробки з найменшим T_o для даних умов.

1.3.2 Вибір максимально допустимої глибини різання, подачі і оптимальної швидкості різання. Оптимальна швидкість різання може бути визначена за критерієм мінімального штучного часу або за критерієм мінімальної технологічної собівартості (рис.7.9). Період стійкості інструмента, який відповідає оптимальній швидкості різання за критерієм мінімальної технологічної собівартості ($V_{опт\,C}$) називається економічною стійкістю (T_e).

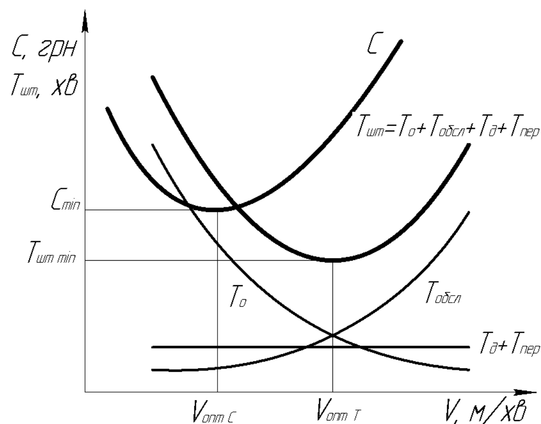


Рисунок 7.9 – Залежність штучного часу і собівартості від швидкості різання

2 Зменшення допоміжного часу $T_д$ та часу на технічне обслуговування $T_{обсл}$.

2.1 Механізація і автоматизація ЗТО.

2.2 Використання методів автоматичного досягнення точності.

3 Зменшення підготовчо-заключного часу $T_{п.з.}$

3.1 Використання групової форми організації виробництва, збільшення величини партії.

3.2 Використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), робото-технологічних комплексів (РТК) та гнучких виробничих систем (ГВС).

4 Ускладнення структури операції.

4.1 Підвищення класу обробки.

4.2 Підвищення групи обробки.

4.3 Збільшення числа потоків.

Контрольні запитання

1 За якими критеріями оцінюється економічна ефективність технологічного процесу?

2 Дайте визначення технологічної собівартості і опишіть методи її розрахунку.

3 Перечисліть основні заходи для зменшення технологічної собівартості.

4 Дайте визначення технологічності виробу. Перечисліть основні методи підвищення виробничої технологічності виробу.

5 Перечисліть складові штучного і штучно-калькуляційного часу.

6 Назвіть усі класи, групи і числа потоків структури операції.

7 Перечисліть основні напрямки підвищення продуктивності технологічної операції.

8 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Література:
[1],[2],[4],[5],[6],[8],[10],[12],[13],[16],[19],[20],[21],[22],[23],[24],[26],[27],[28],[32],[33],[34],[35],[36],[37]

8.1 Види технологічних процесів

Технологічна підготовка виробництва - сукупність заходів, які забезпечують наявність на підприємстві повних комплектів конструкторської і технологічної документації і засобів технологічного оснащення, необхідних для здійснення заданого об'єму випуску продукції з встановленими техніко-економічними показниками [16].

Комплексний технологічний процес – це технологічний процес, який включає всі операції (технологічні, операції переміщення, контролю і т.д), які потрібні для виготовлення деталі.

За рівнем уніфікації технологічні процеси можна поділити на одиничні і уніфіковані (рис.8.1).

Одиничний технологічний процес – це технологічний процес виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва [13].

Уніфікований технологічний процес – це технологічний процес, який відноситься до групи виробів і характеризується спільністю конструктивних і технологічних ознак. До уніфікованих належать типові і групові технологічні процеси.

Типовий технологічний процес – технологічний процес виготовлення групи виробів зі спільними конструктивними і технологічними ознаками [13].

Груповий технологічний процес – технологічний процес виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але спільними технологічними ознаками [13].

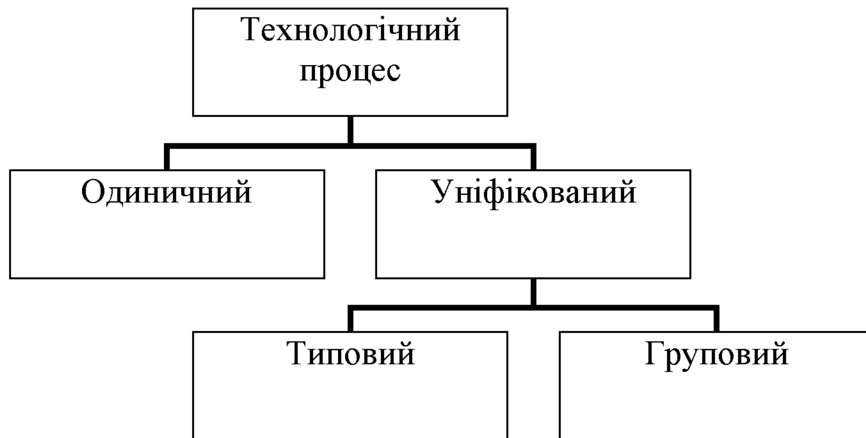


Рисунок 8.1 - Класифікація технологічних процесів за рівнем уніфікації

Робочий технологічний процес – технологічний процес, який виконують за робочою технологічною і (або) конструкторською документацією.

Перспективний технологічний процес – це технологічний процес, який розроблено з використанням сучасних перспективних досягнень науки і техніки, методи і засоби виконання якого повністю або частково належить освоїти на підприємстві.

Проектний технологічний процес – це технологічний процес, який виконують за попереднім проектом технологічної документації.

Тимчасовий технологічний процес – це технологічний процес, який застосовують на підприємстві впродовж обмеженого періоду часу до заміни на більш сучасний.

Стандартний технологічний процес – це технологічний процес, який установлений стандартом.

8.2 Проектування одиничних технологічних процесів

Вихідні дані для проектування технологічних процесів механічної обробки:

1 Величина та термін виконання програмного завдання.

2 Креслення та технічні умови на виготовлення та приймання виробу.

3 Креслення вихідної заготовки.

Техніко-економічний принцип розробки технологічних процесів полягає в тому, що технологічний процес має забезпечити виконання конструкторських вимог та програми випуску і відбуватись у відповідних організаційних умовах для досягнення найвищої ефективності виробництва з найменшими затратами коштів і часу. Тому проектування ефективних технологічних процесів часто є задачею оптимізації.

Оптимізація технологічного процесу найчастіше виконується у напрямку знаходження оптимальної його структури (наприклад маршруту або послідовності переходів) або оптимальних технологічних параметрів (наприклад режимів різання), переважно за критеріями мінімальної собівартості і максимальної продуктивності. Часто оптимізують параметри абстрактних математичних моделей технологічного процесу.

Оптимізацією взагалі називають процес вибору найкращого варіанта з ряду можливих. Ознака на основі якого робиться оцінка варіантів і вибір найкращого називається **критерієм оптимальності** g (мінімальні витрати, максимальна продуктивність і т.п.). **Параметрами оптимізації** x називаються параметри моделі системи (режими різання, стійкість інструмента, допуски на міжопераційні розміри і т.п.), зміна яких впливає на критерій оптимальності. Параметри оптимізації повинні лежати в певних межах, що називається **параметричними обмеженнями**:

$$x_{imin} \le x_i \le x_{imax}.$$

Цільовою функцією називається функція, яка пов'язує критерій оптимальності і параметри оптимізації. Часто задача оптимізації зводиться до пошуку таких значень параметрів при яких цільова функція приймає екстремальне (мінімальне або максимальне) значення:

$$g = f(x_1, x_2, \dots x_n) \to extremum.$$

Складнішими є задачі з кількома критеріями оптимальності. Такі задачі спрощують і розглядають екстремум цільової функції по одному критерію тоді як інші лежать в певних допустимих межах.

Наприклад для знаходження оптимальної швидкості різання за критеріями мінімального штучного часу $V_{оптТшт}$ або мінімальної собівартості $V_{оптС}$ (рис. 7.9) будують математичну модель - функціональні залежності $T_{шт}(V)$ або $C(V)$. В даному випадку цільовою функцією є $T_{шт}(V) \to min$ або $C(V) \to min$, а параметричні обмеження для V відсутні.

Для знаходження оптимальної швидкості різання знаходять екстремум функції $T_{шт}(V)$ або $C(V)$ шляхом розв'язування рівняння:

$$\frac{dT_{шт}}{dV}=0 \text{ або } \frac{dC}{dV}=0 .$$

Визначення величини партії деталей в серійному виробництві теж є задачею оптимізації.

Аналітичний метод визначення оптимальної величини партії - теоретично і практично обґрунтований метод, суть якого полягає в тому, що собівартість виготовлення деталей виражається як функція від величини партії та інших чинників, що на неї впливають. Оптимальне значення величини партії визначається як екстремум цієї функції собівартості (за її мінімумом). Один із наближених способів визначення оптимальної величини партії оснований на твердженні, що оптимальна величина партії мусить бути тим більша, чим більший час на підготовку робочого місця для виконання операції $T_{п.з}$ та чим менший час виконання однієї операції $T_{шт}$. Звідси для визначення величини партії можна отримати просту формулу

$$N=\frac{T_{п.з}}{T_{шт}}a ,$$

де а — коефіцієнт партійності, що залежить від типу виробництва: для дрібносерійного виробництва a = 3—10; середньосерійного — a=10-20; великосерійного a = 20-100.

Послідовність проектування одиничних технологічних процесів:

1 *Підготовчий етап*

1.1 Конструкторсько-технологічний аналіз предмета виробництва – аналіз типу і конструкції деталі, аналіз технологічності, виявлення конструкторських помилок.

1.2 Визначення типу виробництва, форми його організації і розміру партії. Розраховують такт випуску, середню норму часу на операцію, коефіцієнт закріплення операції, виявляють тип виробництва та форму його організації і визначають розмір партії.

Такт випуску – інтервал часу, через який періодично виконується випуск виробів або заготовок певного найменування, типорозміру чи виконання [13]:

$$T=\frac{F}{Q} \text{ (хв/шт)},$$

де F - річний фонд часу роботи верстата, Q - величина річної програми.

Ритм випуску – кількість виробів, які випускаються за одиницю часу.

2 *Розробка принципової схеми виготовлення деталей* – загального опису технологічного процесу.

3 *Розробка маршрутної технології* – пооопераційного опису технологічного процесу.

3.1 Вибір способу виготовлення заготовки.

3.2 Вибір технологічних баз, методів і плану механічної обробки.

3.3 Розрахунок припусків, розмірів заготовки, технологічних розмірів.

4 *Розробка операційної технології* – докладного опису виконання кожної операції.

4.1 Вибір різальних інструментів, розрахунок режимів різання, вибір обладнання, аналіз точності обробки, проектування схем налагодження верстатів.

4.2 Розробка керуючих програм для пристроїв ЧПК.

4.3 Визначення норм часу, фаху і кваліфікації робітників.

4.4 Розрахунок економічних показників технологічного процесу і вибір його варіанта з найменшою технологічною собівартістю або приведеними витратами.

4.5 Розробка операцій технічного контролю.

4.6 Організація виробничої дільниці.

4.7 Оформлення технологічної документації – маршрутної і операційних карт, карти ескізів, налагодження, керуючої програми для ЧПК, відомості оснастки і матеріалів.

8.3 Проектування типових технологічних процесів

Особливості типових технологічних процесів:

Типізація повинна забезпечити усунення різноманітності технологічних процесів шляхом їх обґрунтованого зведення до обмеженої кількості типів.

Типовий технологічний процес розробляють для заготовок одного типу, оскільки вони мають спільний план операцій, спільні способи обробки, обладнання, пристрої і інструменти. В межах типу допускається певне відхилення в порядку обробки. Типізація може проводитись в напрямку обробки окремих поверхонь, їх сукупностей або заготовок в цілому.

Типізація є також базою для розробки стандартів на типові технологічні процеси.

Типізація основана на класифікації заготовок за типами, для яких можна розробляти типові технологічні процеси. Ознаками для класифікації є конфігурація заготовки, її розміри, точність розмірів і

якість поверхонь, матеріал. Заготовки класифікують за класами, підкласами, групами, підгрупами і типами.

Клас - сукупність заготовок, які характеризуються спільністю технологічних задач, які розв'язуються в умовах певної конфігурації (конструкції) цих заготовок. Наприклад, класифікація ЄСКД включає 6 класів:

71 - тіла обертання: кільця, диски, шківи, стержні, втулки, вали, штоки і т.п. (рис. 8.2а).

72 - тіла обертання з елементами зубчатого зачеплення (рис. 8.2б).

73 - корпусні, опорні, ємнісні деталі і т.п. (рис. 8.2в).

74 - площинні, важільні, профільні, аерогідродинамічні деталі і т.п. (рис. 8.2г).

75 - кулачкові, карданні, санітарно-технічні, пружинні, кріпильні деталі і т.п. (рис. 8.2д).

76 - деталі технічної оснастки, які виконують самостійні функції (свердла, мітчики, пластини різальні, матриці, пуансони і т.п.) (рис. 8.2е).

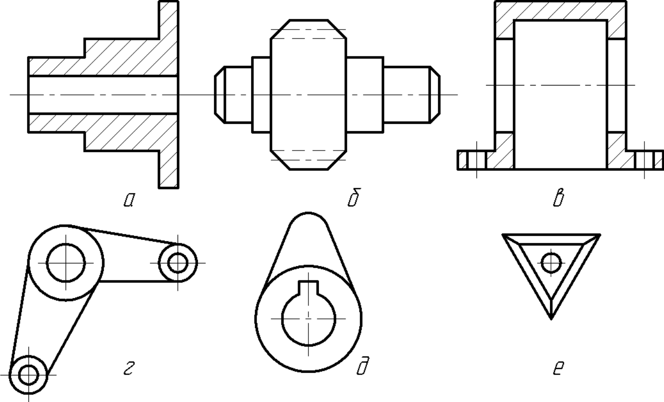


Рисунок 8.2 - Класи деталей

Класи поділяються на групи і підгрупи, які в свою чергу діляться на типи.

Тип – сукупність заготовок одного класу, які мають в певних виробничих умовах однаковий маршрут типових операцій.

Переваги типових технологічних процесів:

1 Підвищення якості технологічних процесів, зменшення часу технологічної підготовки виробництва.

2 Підвищення продуктивності і економічності виробництва при великосерійному виробництві конструктивно подібних заготовок.

Приклад типового технологічного процесу обробки планок (рис.8.3):

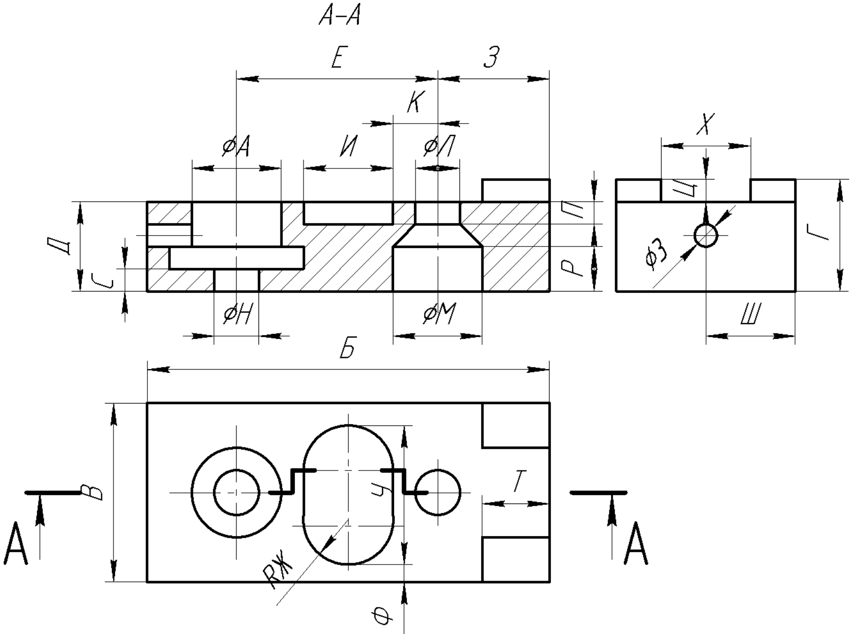


Рисунок 8.3 - Ескіз планки

Таблиця 8.1 - Типовий маршрут обробки деталей типу планок

№ оп.	**Зміст або найменування операції**	**Верстат, обладнання**	**Оснастка**
005	Відрізати заготовку від полоси	Абразивно-відрізний автомат 8В262	Лещата
010	Навісити бирку з номером деталі на тару		
015	Фрезерувати дві широкі поверхні в розмір Д+0,3	Вертикально-фрезерний 6Т12	Гідролещата, наладка двохпозиційна

№ оп.	Зміст або найменування операції	Верстат, обладнання	Оснастка
	під шліфування і дві поверхні в розмір В остаточно		
020	Фрезерувати два торця в розмір Б остаточно	Горизонтально-фрезерний 6Т82Г	Пристрій універсально-налагоджувальний з гідравлічним затиском
025	Зачистити задири після фрезерування	Машина для зняття задирів	
030	Шліфувати дві широкі поверхні в розмір Д остаточно	Плоскошліфувальний 3П722ДВ	Магнітна плита
035	Зачистити задири і притупити гострі кромки	Машина для зняття задирів	
040	Фрезерувати два платика в розмір ТхХ остаточно. Свердлити, розточити і розвернути один отвір ∅А/∅Н остаточно. Фрезерувати паз ИхП остаточно, свердлити і зенкувати один отвір ∅Л/∅М остаточно	Розточувально-свердлильно-фрезерний з ЧПУ і інструментальним магазином 2254ВМФ4	Наладка УЗП двохпозиційна
045	Свердлити один отвір ∅3	Вертикально-свердлильний 2Н125-1	Кондуктор
050	Зачистити зазубрини	Вібраційна машина ВМПВ-100	
055	Промити деталь	Мийна машина	

№ оп.	Зміст або найменування операції	Верстат, обладнання	Оснастка
060	Технічний контроль		
065	Хімічне оксидування		
070	Нанесення антикорозійного покриття		

Послідовність проектування типових технологічних процесів:

1 Класифікація деталей. Створення груп деталей, що мають спільні конструктивно-технологічні характеристики.

2 Кількісна оцінка груп об’єктів виробництва. Визначення типу виобництва для кожного типового представника групи.

3 Аналіз конструкцій типових представників.

4 Вибір методів виготовлення заготовки.

5 Вибір технологічних баз.

6 Вибір виду і методів обробки.

7 Розробка технологічного маршруту обробки.

8 Розробка технологічних операцій.

9 Розрахунок продуктивності і економічної ефективності варіантів типових технологічних процесів.

10 Оформлення документації на типовий технологічний процес.

8.4 Проектування групових технологічних процесів

Особливості групових технологічних процесів:

Під груповою розуміється форма організації виробництва, яка характеризується сумісним виготовленням або ремонтом груп виробів різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях.

Груповий технологічний процес призначений для виготовлення групи виробів різної конфігурації за загальним технологічним маршрутом на спеціалізованих робочих місцях.

Метод групової обробки оснований на технологічній класифікації заготовок групи. Групу створюють для виконання операції на одному і тому ж верстаті при незмінній його наладці. Деколи допускається незначна зміна наладки верстата.

Група – сукупність деталей, які характеризуються спільністю оброблюваних поверхонь і їх поєднань на окремих технологічних операціях, спільністю обладнання, оснастки, наладки і технологічних переходів. В одну групу можуть входити заготовки різної конфігурації.

Переваги групових технологічних процесів:

1 Підвищення продуктивності і економічності обробки за рахунок застосування високопродуктивного спеціалізованого обладнання, зменшення часу на налагодження і переналагодження, допоміжного часу. Можливість переносу високопродуктивних методів масового виробництва в умови серійного.

2 Підвищення якості технологічних процесів, зменшення часу технологічної підготовки виробництва.

3 Спрощується і здешевлюється виготовлення спеціальної оснастки, модернізація верстатів.

Послідовність проектування групових операцій технологічних процесів:

1 Відбір заготовок в групу за критерієм однаковості обладнання, пристроїв, установки, інструментів (рис. 8.4а).

2 Визначення фактичної трудомісткості обробки відібраних заготовок в кількості, яка забезпечує повне виконання місячної програми.

3 Установлюють кінцевий варіант складу групи заготовок, виходячи з необхідності завантаження обладнання впродовж місяця при мінімальних переналагодженнях для інших груп заготовок.

4 Створюють комплексну заготовку (рис. 8.4а-6).

Комплексна заготовка – реальна або умовна заготовка, що містить всі поверхні, які зустрічаються в усіх інших заготовках групи.

Установлюють послідовність і зміст переходів групової операції і розробляють схему групової наладки верстата (рис. 8.4б).

5 Проектують і виготовляють групову оснастку.

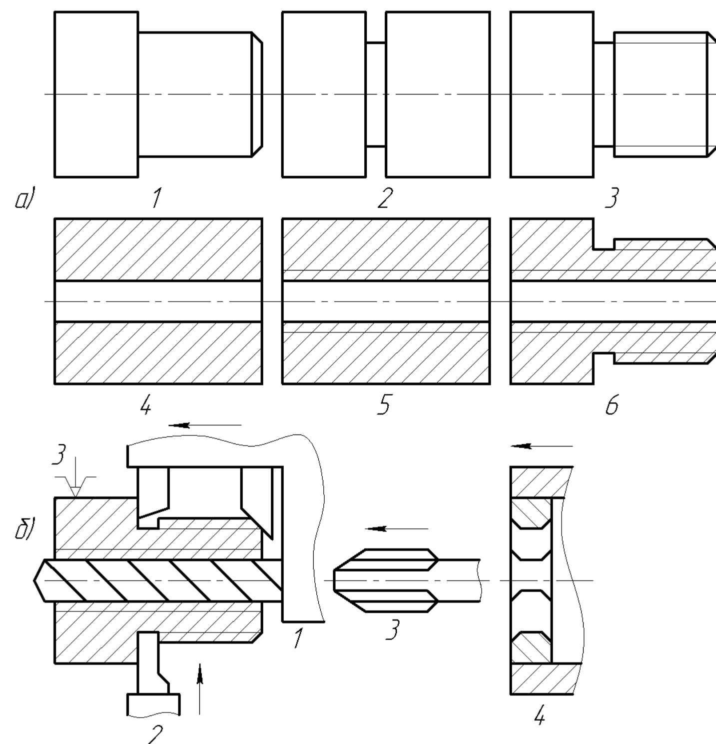


Рисунок 8.4 – Групова операція:
а - заготовки для групової операції (1-5), комплексна заготовка (6),
б - групова наладка токарно-револьверного верстата для групової операції

8.5 Проектування технологічних процесів для верстатів з ЧПК та ГВС

Системи програмного керування металорізальних верстатів поділяються на циклові та числові.

Циклове програмне керування (ЦПК) – керування послідовністю і швидкістю переміщень органів верстата при обробці заготовки за керуючою програмою, яка задається шляхом певного набору комутуючих елементів на панелі керування.

Числове програмне керування (ЧПК) – керування обробкою заготовки на верстаті за керуючою програмою, в якій дані приведені в цифровій формі.

Верстат з ЧПК – напівавтомат або автомат, рухомі органи якого виконують робочі і допоміжні рухи автоматично за заданою програмою, яка записана на носії. Системи ЧПК поділяються на позиційні і контурні.

Позиційна система ЧПК – система ЧПК, в якій переміщення робочих органів верстата виконується в задані точки, а траєкторія переміщення не задається.

Контурна система ЧПК – система ЧПК, в якій переміщення робочих органів верстата виконується за заданою траєкторією і з заданою швидкістю.

Переваги застосування верстатів з ЧПК:

1 Підвищення продуктивності обробки за рахунок зменшення допоміжного і підготовчо-заключного часу та інтенсифікації режимів різання. Автоматизований режим роботи верстата (виконання робочих і допоміжних ходів, зміна інструмента, налагодження і підналагодження). Можливість багатоверстатного обслуговування.

2 Універсальність верстатів, простота налагодження і переналагодження при переході на виготовлення інших деталей.

3 Підвищення точності розмірів і форми деталей за рахунок програмного керування та підвищеної точності і жорсткості верстата.

4 Зменшення собівартості виробництва за рахунок зменшення кваліфікації робітника, витрат на пристрої.

Особливості технологічних процесів на верстатах з ЧПК:

Верстати з ЧПК найбільш вигідні в серійному виробництві при обробці заготовок складної конфігурації або заготовок з високою точністю і величиною партії 15-20 штук і більше. У зв’язку з високою вартістю верстата обробка заготовок на верстатах з ЧПК повинна бути економічно обґрунтованою. Однак, взаємодія сучасних верстатів з ЧПК з САПР (системами CAD/CAM) дозволяє його ефективне використання і в одиничному виробництві.

Необхідна технологічна підготовка креслень. Особливі вимоги ставляться до технологічності деталі, здатності її конструкції до концентрації операцій. Заготовка повинна виготовлятись більш точними методами. Бажаною є типізація технологічних процесів і застосування групового методу обробки. Значну увагу приділяють базуванню. Широко використовують принцип єдності баз. Якщо це неможливо, повну обробку виконують максимум за дві операції - обробка базових поверхонь на першій, інших поверхонь – на другій операції. Продуктивність обробки залежить від послідовності обробки поверхонь, тому важлива оптимізація послідовності ходів. Необхідне максимальне завантаження верстата і повне використання його технологічних можливостей на одній операції.

Ступінь докладності опису технологічного процесу і організаційної підготовки виробництва високий. Розробка технологічної документації включає розробку карти наладки, операційно-технологічної карти, розрахунково-технологічної карти, карти програмування, керуючої програми. Технологічна документація вимагає детальної перевірки і коректування.

На рис.8.5 показана циклограма обробки деталі на фрезерному верстаті з ЧПК, табл.8.2 містить координати опорних точок, а табл.8.3 - код керуючої програми.

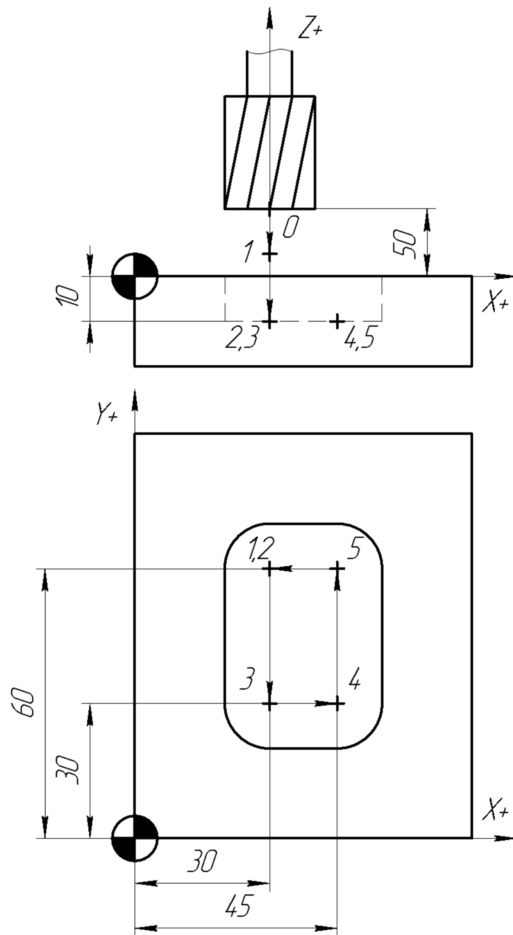


Рисунок 8.5 - Циклограма обробки деталі на фрезерному верстаті з ЧПК

Таблиця 8.2 - Координати опорних точок

№ опорної точки	Координати, мм		
	X	Y	Z
1	+30	+60	+5.5
2	+30	+60	-10
3	+30	+30	-10
4	+45	+30	-10
5	+45	+60	-10

Таблиця 8.3 - Керуюча програма

Кадри керуючої програми	Пояснення
%	Символ початку програми
O0001 (PAZ)	Номер програми (0001) і її назва (PAZ)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Ввід метричних даних, відміна корекції на радіус інструмента, відміна компенсації довжини інструмента, робоча система координат, відміна постійного циклу, абсолютне позиціювання
N20 M06 T01 (FREZA D1)	Виклик інструмента №1
N30 G43 H01	Компенсація довжини інструмента №1
N40 M03 S1000	Включення обертів шпинделя (1000 об/хв)
N50 G00 Z5.5	Швидке переміщення в опорну точку 1
N60 G01 Z-10 F25	Переміщення (лінійна інтерполяція) на глибину 10 мм на подачі 25 мм/хв (точка 2)
N70 G01 X30 Y30	Переміщення інструмента в точку 3 (25 мм/хв)
N80 G01 X45 Y30	Переміщення інструмента в точку 4 (25 мм/хв)
N90 G01 X45 Y60	Переміщення інструмента в точку 5 (25 мм/хв)
N100 G01 X30 Y60	Переміщення інструмента в точку 2 (25 мм/хв)
N110 G01 Z50	Підйом інструмента вверх в Z50 (25 мм/хв)
N120 M05	Виключення обертів шпинделя
N130 M30	Закінчення програми
%	Символ кінця програми

Послідовність проектування технологічних процесів для верстатів з ЧПК:

1 Аналіз вихідних даних.

2 Класифікація деталей з врахуванням організаційно-технічних вимог.

3 Аналіз креслень і відпрацювання їх на технологічність.

4 Кількісна оцінка груп деталей. Визначення виробничої програми, партії, типу виробництва.

5 Вибір існуючого типового, групового чи одиничного технологічного процесу.

6 Вибір заготовок.

7 Вибір технологічних баз і методів обробки.

8 Проектування технологічного маршруту.

9 Розробка технологічних операцій.

10 Розрахунок продуктивності і економічної ефективності варіантів технологічного процесу.

11 Розробка керуючих програм.

12 Відпрацювання і коректування керуючих програм.

13 Оформлення технологічної документації.

Для підвищення ефективності верстатів з ЧПК в умовах серійного виробництва їх часто використовують в складі гнучких виробничих систем.

Гнучка виробнича система (ГВС) – сукупність або окрема одиниця технологічного обладнання і системи забезпечення його функціонування в автоматичному режимі, яка володіє властивістю автоматизованого переналагодження для виробництва виробів будь-якої номенклатури в установлених межах їх характеристик. Прикладами ГВС є гнучкий виробничий модуль та гнучкий виробничий комплекс.

Переваги гнучкої виробничої системи:

1 Висока степінь автоматизації технологічних процесів обробки, обслуговування і керування.

2 Блочно-модульна побудова ГВС дозволяє проектування нових виробництв із уніфікованих компонентів і модулів.

3 Висока гнучкість виробництва.

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) – це гнучка виробнича система, яка складається з одиниці технологічного обладнання та обладнана автоматизованим пристроєм програмного керування і засобами автоматизації технологічного процесу, функціонує автономно, виконує багатократні цикли і має можливість вбудовуватись в систему більш високого рівня (рис.8.6).

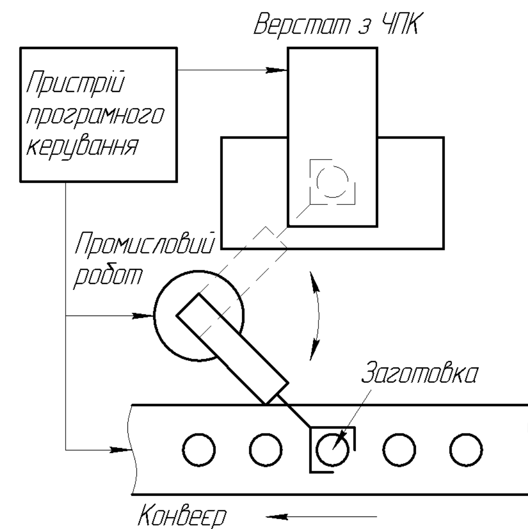


Рисунок 8.6 - Гнучкий виробничий модуль

Гнучкий виробничий комплекс (ГВК) - це гнучка виробнича система, яка складається із декількох гнучких виробничих модулів, які об'єднані автоматизованою системою керування і транспортно-складською системою, яка автономно функціонує впродовж заданого інтервалу часу і має можливість вбудовуватись в систему більш високої ступені автоматизації.

Сучасне автоматизоване виробництво на верстатах з ЧПК та ГВС вимагає застосування систем автоматизованого проектування та автоматизованих систем управління.

Системи автоматизованого проектування (САПР) - комп'ютерні системи на основі програмного забезпечення, розробленого для автоматизації етапів проектування продукції і проектування виробництва. За призначенням САПР в машинобудуванні поділяються на:

1 Системи функціонального проектування (Computer Aided Engineering - CAE). Виконують моделювання і розрахунок різноманітних технічних систем, наприклад моделювання напружено деформованого стану конструкцій.

2 Конструкторські системи (Computer Aided Design - CAD). Виконують креслення, оформлення конструкторської документації, побудову тривимірних моделей і їх візуалізацію.

3 Технологічні системи або автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва - АСТПВ (Computer Aided Manufacturing - CAM). Виконують розробку технологічного процесу, керуючих програм для обладнання з ЧПК, моделювання процесів обробки, розрахунок норм часу.

Важливим є застосування систем CAD/CAE/CAM на всіх етапах машинобудівного виробництва, що дозволить суттєво скоротити витрати часу, коштів та підвищити його якість.

Автоматизовані системи управління (АСУ) - комп'ютерні системи управління підприємством (АСУП) і окремими технологічними процесами (АСУТП). АСУП виконують функції календарного планування виробництва, маркетингу, оперативного управління виробництвом, управління проектуванням виробів, врахування і нормування трудовитрат, основних фондів, управління фінансами, запасами і постачанням. Функціями АСУТП є збір і обробка даних про стан обладнання і протікання виробничих процесів та прийняття рішень по їх виконанню. Для комплексної автоматизації виробництва необхідне поєднання систем САПР і АСУ.

Контрольні запитання

1 Перечисліть види технологічних процесів.
2 Опишіть послідовність проектування одиничних технологічних процесів.
3 Розкажіть про особливості типових технологічних процесів і їх переваги.
4 Розкажіть про особливості групових технологічних процесів і їх переваги.
5 Розкажіть про переваги застосування верстатів з ЧПК та особливості проектування технологічних процесів для них.
6 Дайте визначення ГВС та їх видам. Розкажіть про переваги застосування ГВС.
7 З якою метою використовуються в машинобудуванні САПР та АСУ?

9 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

Література: [1],[3],[5],[10],[12],[20],[21],[22],[29],[33],[37]

9.1 Види складання. Організаційні форми складання

Складання – це утворення роз'ємних або нероз'ємних з'єднань складових частин виробу [13]. У процес складання входять такі види робіт: підготовчі, пригоночні, складальні, регулювальні, контрольні, демонтажні.

Складання буває загальним і вузловим, об'єктом якого є складова частина виробу (вузол).

За стадіями процесу складання поділяють на попереднє, проміжне, під зварювання, кінцеве.

За методом утворення з'єднань складання поділяють на слюсарне (складання за допомогою слюсарно-складальних операцій), монтаж (установка виробу або його частин на місці використання), електромонтаж, зварювання, паяння, клепання, склеювання.

За організаційними формами (рис. 9.1) складання поділяють на непотокове, потокове і групове, а за переміщенням виробу на стаціонарне і рухоме.

Загальне складання – складання, об'єктом якого є виріб в цілому.

Вузлове складання – складання, об'єктом якого є складова частина виробу (складальна одиниця, вузол).

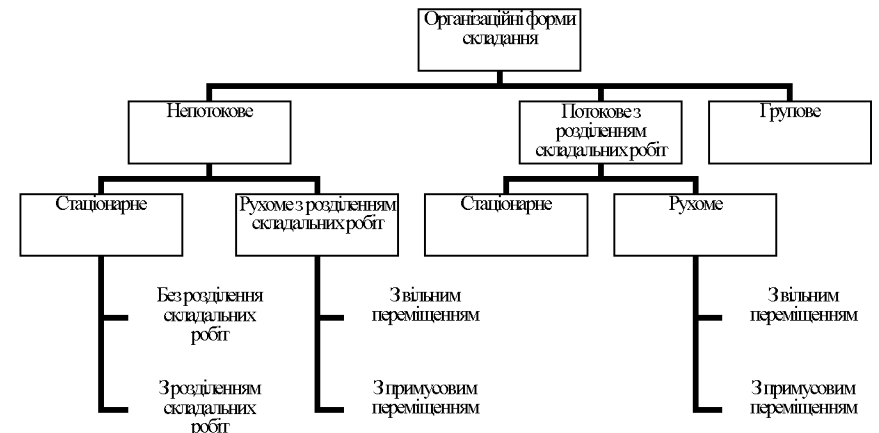


Рисунок 9.1 – Класифікація організаційних форм складання

Непотокове стаціонарне складання характеризується тим, що весь процес складання виробу і його складальних одиниць виконується на одній складальній позиції. Недолік – низька продуктивність, потреба в висококваліфікованих робітниках. Використовується в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Непотокове стаціонарне складання з розділенням складальних робіт полягає в тому, що процес складання диференціюють на вузлове і загальне складання. Перевага – спеціалізація робочих місць, вища продуктивність складання, менша потреба у висококваліфікованих робітниках, зменшення собівартості складання. Використовують в дрібносерійному виробництві.

Непотокове рухоме складання характеризується послідовним переміщенням виробу від однієї складальної позиції до іншої (рис.9.2). Технологічний процес складання розбивають на окремі операції. Недолік – неоднакова тривалість операцій. Використовують в серійному виробництві.

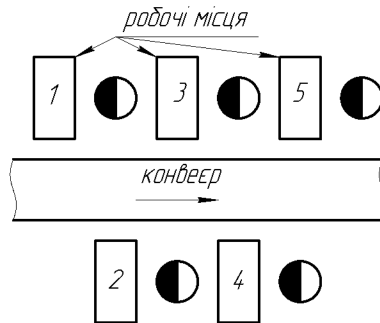


Рисунок 9.2 - Рухоме складання: 1,2,3,4,5 - операції

Потокове складання характеризується тим, що окремі операції технологічного процесу складання виконуються за однаковий проміжок часу – такт, або за проміжок часу, який кратний такту. Перевагою є висока продуктивність складання, спеціалізація робітників, можливість механізації і автоматизації. Використовують при великому об’ємі випуску виробів в серійному і масовому виробництві.

Потокове нерухоме складання характеризується тим, що всі складальні об’єкти залишаються на робочих позиціях впродовж всього процесу складання. Робітники переходять від одних складальних об’єктів до наступних через періоди часу, які дорівнюють такту. Кожен робітник виконує закріплену за ним одну і ту ж операцію на кожному складальному об’єкті. Використовують при складанні великогабаритних виробів в серійному виробництві.

Потокове рухоме складання характеризується безперервним або періодичним переміщенням складальних об’єктів від однієї складальної позиції до іншої і виконанням роботи з потрібним тактом (рис.9.2). Перевагою є можливість суміщення часів на складання і транспортування.

9.2 Способи досягнення точності при складанні

Точність складання – властивість процесу складання виробу забезпечити відповідність значень параметрів виробу тим, які задані в конструкторській документації. Використовують такі методи досягнення точності при складанні: повної взаємозамінності, неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, пригонки, регулювання.

Метод повної взаємозамінності - метод складання, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається шляхом включення в нього складових ланок без підбору або зміни їх значень у всіх об'єктів (рис. 9.3а):

$$\boxed{T_{A_\Delta} = \sum_{i=1}^{n} T_{A_i}}. \qquad (9.1)$$

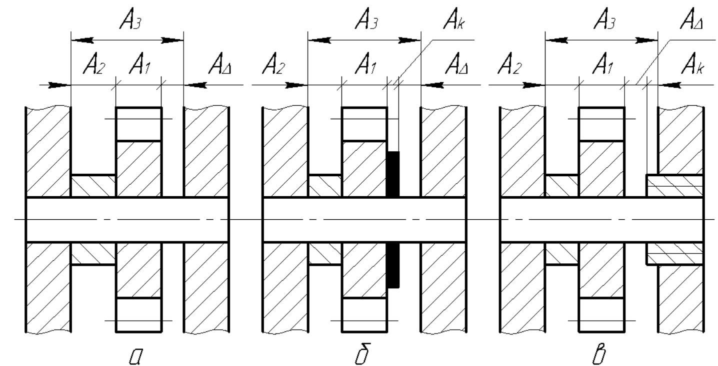


Рисунок 9.3 - Методи досягнення точності при складанні: а - метод повної взаємозамінності, б - метод пригонки, в - метод регулювання

Метод неповної взаємозамінності - метод складання, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається шляхом включення у нього ланок без підбору або зміни їх значень тільки у наперед обумовленої частини об'єктів (рис. 9.3а):

$$T_{A_\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} k_{A_i}^2 T_{A_i}^2}. \quad (9.2)$$

Метод групової взаємозамінності - метод складання, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається шляхом включення в розмірний ланцюг ланок, що належать до однієї з частин всієї сукупності, на які вони були попередньо посортовані (рис.9.4). Ефективність цього методу знижується, якщо закони розподілу ланок відрізняються.

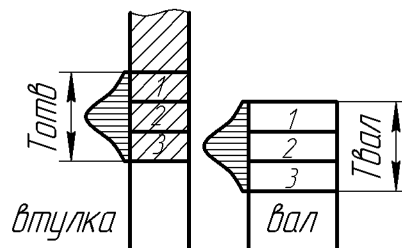


Рисунок 9.4 - Метод групової взаємозамінності (селекції)

Метод пригонки - метод складання, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру компенсуючої ланки шляхом видалення шару матеріалу (рис. 9.3б):

$$A_k = \sum_{i=1}^{n} T_{A_i} - T_{A_\Delta}, \quad (9.3)$$

де $\sum_{i=1}^{n} T_{A_i}$ - сума розширених допусків складових ланок.

Метод регулювання - метод складання, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру або положення компенсуючої ланки без видалення матеріалу з компенсатора (рис. 9.3в).

9.3 Проектування технологічних процесів складання

Технологічний процес складання – частина виробничого процесу, яка безпосередньо пов’язана з послідовним з’єднанням,

взаємною орієнтацією і фіксацією деталей і вузлів для отримання готового виробу.

Технологічна операція складання – закінчена частина технологічного процесу складання, яка виконується безперервно над однією складальною одиницею або над сукупністю складальних одиниць, що одночасно складаються, одним або групою робітників на одному робочому місці.

Вихідні дані для розробки технологічного процесу складання :

1 Програма випуску виробів і умови виконання технологічного процесу.

2 Складальні креслення виробу, вузлів; каталоги і специфікації деталей, які входять в виріб.

3 Технічні умови складання і випробування виробу.

4 Робочі креслення деталей, які входять в виріб.

5 Об'єм кооперування.

6 Каталоги і довідники зі складального обладнання і технологічній оснастці.

7 Взірець виробу, що складається.

8 Дані про складальне виробництво (для діючого підприємства).

Послідовність проектування технологічних процесів складання:

1 Визначення за програмою випуску організаційної форми складання і її такту.

2 Аналіз технологічності виробу і окремих деталей.

3 Розмірний аналіз конструкції виробу, що складається, і вибір методу досягнення точності при складанні.

4 Визначення степені диференціації процесу складання.

5 Розробка схеми загального і вузлового складання.

6 Визначення найбільш оптимальних способів з’єднання, перевірки положення і складання деталей. Розробка технологічних операцій складання, методів контролю, випробувань.

7 Проектування необхідної оснастки.

8 Технічне нормування складальних робіт і розрахунок економічних показників процесу складання.

9 Оформлення технічної документацій процесу складання.

Послідовність складання в основному визначається конструкцією виробу, компоновкою деталей і методами досягнення потрібної точності і може бути подана в вигляді технологічної схеми складання.

Технологічна схема складання – умовне зображення порядку комплектування виробів і вузлів при складанні (рис.9.5).

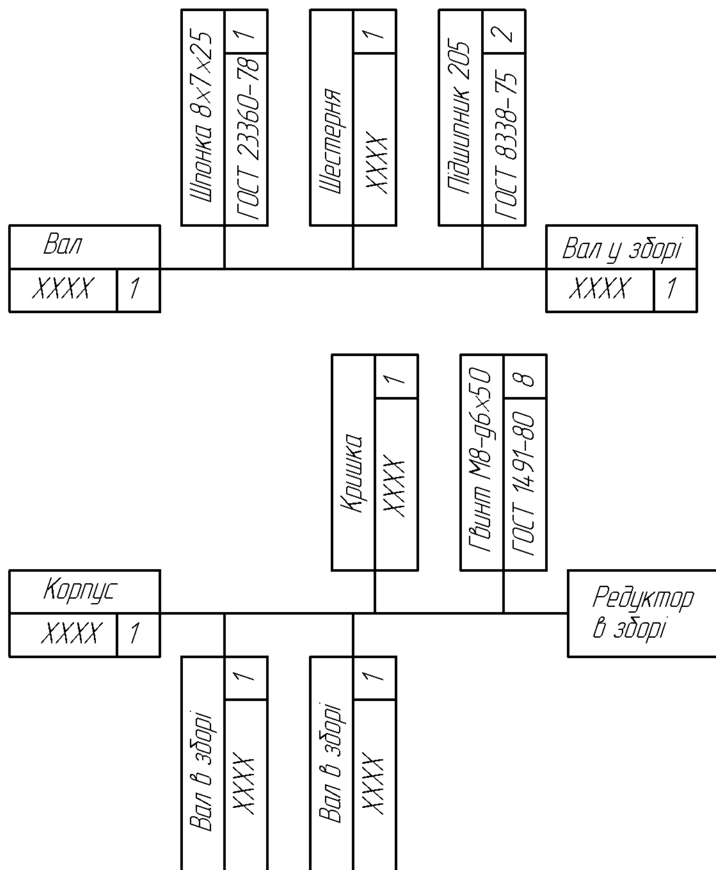


Рисунок 9.5 - Технологічна схема складання редуктора

Контрольні запитання

1 Перечисліть основні види і організаційні форми складання.
2 Опишіть основні методи досягнення точності при складанні. Проаналізуйте їх переваги і недоліки.
3 Опишіть послідовність проектування технологічного процесу складання. Дайте приклад технологічної схеми складання.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 **Маталин, А.А.** Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных вузов / А.А. Маталин. - Л.: Машиностроение, Ленинградское от-ние, 1985. – 496 с.
2 Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х томах. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.: ил.
3 Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х томах. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.: ил.
4 **Медвідь, М.В.** Теоретичні основи технології машинобудування / М.В. Медвідь, В.А. Шабайкович. - Львів: Вища школа, 1976. - 293 с.
5 **Руденко, П.О.** Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посібник / П.О. Руденко. -М: Вища шк., 1993. - 414 с.
6 Технология газонефтяного и нефтехимического машиностроения: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Под общ. ред. Б.М. Базрова. - М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.: ил.
7 **Корсаков, В.С.** Основы технологии машиностроения. Учебник для вузов / В.С. Корсаков. - М.: Высшая школа, 1974. - 336 с.
8 **Балакшин, Б.С.** Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. - 3-е. изд. - М.: Машиностроение, 1969. - 358 с.
9 **Ковшов, А.Н.** Технология машиностроения. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.Н. Ковшов. - М: Машиностроение, 1987. - 320 с.
10 **Егоров, М.Е.** Технология машиностроения / М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев; под ред. М.Е.Егорова. - изд. 2-е, доп. - М.: Высшая школа, 1976. - 534 с.
11 **Сторож, Б.Д.** Теоретичні основи технології виготовлення деталей і складання машин. Конспект лекцій / Б.Д. Сторож. - Івано-Франківськ: Факел, 2003. - 83 с.
12 **Базров, Б.М.** Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Б.М. Базров. - М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.: ил.
13 ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. - Введ. 1983-01-01. - М. : Изд-во стандартов, 1983. - 14 с.

14 ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. - Введ. 1977-01-01. - М. : Изд-во стандартов, 1976. - 35 с.
15 ГОСТ 15895-77. Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения. - Введ. 1978-01-01. - М. : Изд-во стандартов, 1977. - 20 с.
16 ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. - Введ. 1983-01-07. - М. : Изд-во стандартов, 1983. - 7 с.
17 ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. - Введ. 1979-01-07. - М. : Изд-во стандартов, 1979. - 22 с.
18 ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения. [Текст] . - Введ. 1983-01-07. - М. : Изд-во стандартов, 1983. - 4 с.
19 Технология машиностроения: сборник задач и упражнений: Учеб. пособие / В.И. Аверченков и др.; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2006. - 288 с. - (Высшее образование).
20 **Гельфгат, Ю.И.** Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностр. спец. техникумов / Ю.И. Гельфгат. - 2-е изд., перераб. - М.: Высш. шк., 1986. - 271 с.: ил.
21 Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 480 с.: ил.
22 **Данилевский, В.В.** Технология машиностроения: Учебник для техникумов / В.В. Данилевский. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1984. - 416 с.
23 **Добрыднев, И.С.** Курсовое проектирование по предмету "Технология машиностроения": Учебн. пособие для техникумов по специальности "Обработка металлов резанием" / И.С. Добрыднев. - М.: Машиностроение, 1985. - 184 с.: ил.
24 Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособ. для вузов / Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин и др.; под ред. С.Л.Мурашкина. - М.: Высш. шк., 2003. - 278 с.: ил.
25 **Шихельман, Г.Л.** Занимательная технология машиностроения / Г.Л. Шихельман. - М.: Машиностроение, 1987. - 176 с.: ил.
26 **Шишмарев, В.Ю.** Машиностроительное производство: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ю. Шишмарев, Т.И. Каспина. - М.: Издательский центр "Академия", 2004. - 352 с.

27 **Гурьянихин, В.Ф.** Проектирование технологических операций обработки заготовок на станках с ЧПУ: Учебное пособие / В.Ф. Гурьянихин, В.Н. Агафонов. - Ульяновск: УлГТУ, 2002. - 60 с.
28 **Горбацевич, А.Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. - 5-е издание, стереотипное. - М.: ООО ИД "Альянс", 2007. - 256 с.
29 **Скраган, В.А.** Лабораторные работы по технологии машиностроения. Учебное пособие для студентов по курсу "Технология машиностроения" / В.А. Скраган, И.С. Амосов, А.А. Смирнов. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1974. - 192 с.
30 **Вороненко, В.П.** Машиностроительное производство: Учеб. для сред. спец. учеб. заведений / В.П. Вороненко, А.Г. Схиртладзе, В.Н. Брюханов; под ред. Ю.М.Соломенцева. - М.: Высш. школа, Издательский центр "Академия", 2001. - 304 с.: ил.
31 **Марков, Н.Н.** Нормирование точности в машиностроении: Учеб. для машиностроит. спец. вузов / Н.Н. Марков, В.В. Осипов, М.Б. Шабалина; под ред. Ю.М. Соломенцева. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Высш. шк.; Издательский центр "Академия", 2001. - 335 с.: ил.
32 **Колесов, И.М.** Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / И.М. Колесов. - М.: Машиностроение, 1997. - 592 с.: ил.
33 **Новиков, В.Ю.** Технология станкостроения: Учеб. пособие для техникумов по специальности "Производство станков с программным управлением и роботов" / В.Ю. Новиков, А.Г. Схиртладзе. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.: ил.
34 **Медведев, А.И.** Сборник практических работ по технологии машиностроения: Учеб. пособие / А.И. Медведев, В.А. Шкред, В.В. Бабук и др.; под ред. И.П. Филипова. - Мн.: БНТУ, 2003. - 486 с.
35 **Ткачев, А.Г.** Типовые технологические процессы изготовления деталей машин: Учебное пособие / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 112 с.
36 **Машиностроение. Энциклопедия** / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Машиностроение.
Технология изготовления деталей машин Т. III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. 2000. 840 с, ил.

37 Технологія машино- та приладобудування: Підручник / О.В. Якімов, В.І. Марчук, П.А. Лінчевський, О.О. Якімов та ін. - Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛТДУ, 2005. - 712 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК